

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

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international



(10) Numéro de publication internationale
WO 2013/045862 A1

(43) Date de la publication internationale
4 avril 2013 (04.04.2013)

- (51) Classification internationale des brevets :
G01N 27/24 (2006.01) G01N 27/22 (2006.01)
- (21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2012/052210
- (22) Date de dépôt international :
28 septembre 2012 (28.09.2012)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité :
1158690 28 septembre 2011 (28.09.2011) FR
- (71) Déposants : AIRBUS OPERATIONS [FR/FR]; 316 route de Bayonne, F-31060 Toulouse (FR). AIRBUS [FR/FR]; 1, Rond Point Maurice Bellonte, F-31700 Blagnac (FR).
- (72) Inventeurs : DE SMET, Marie Anne; Lieu dit "au Bois Grand", F-32600 Monbrun (FR). KIERBEL, Daniel; 35 bis chemin des cotes de Pech David, F-31400 Toulouse (FR).
- (74) Mandataire : SANTARELLI; B.P. 237, 14, Avenue de la Grande-Armée, F-75822 Paris Cedex 17 (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, 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, 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, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, 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, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasién (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

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

(54) Title : DEVICE FOR DETECTING DEFECT AND METHOD IMPLEMENTING SUCH A DEVICE

(54) Titre : DISPOSITIF DE DÉTECTION DE DÉFAUT ET PROCÉDÉ METTANT EN OEUVRE UN TEL DISPOSITIF

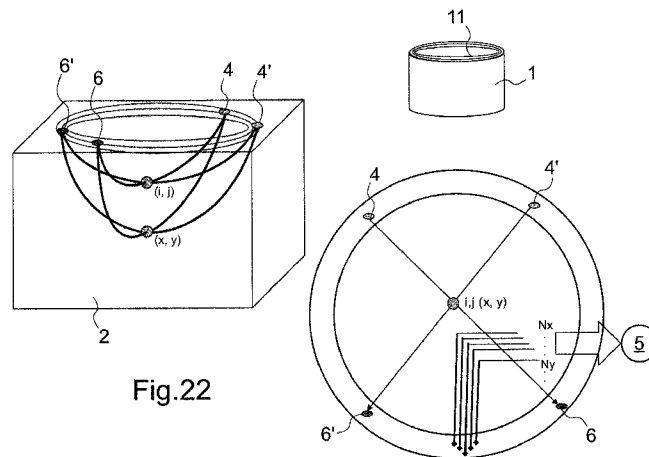


Fig. 22

(57) Abstract : Device for detecting and locating defects in a body comprising pairs of electrodes, means of activation for activating the pairs successively, and means of emission for sending an electrical signal from a first to a second electrode of each activated pair thus forming a field line between the electrodes of the activated pair, and means for analyzing the electrical signal received by the second electrode of the activated pair. The device comprises a housing (1) having a surface (11) on which are arranged the first or the second electrodes, and connection means able to link the electrodes individually to a dielectric interface (5) which comprises the analysis means as well as the activation means. At least two pairs of electrodes are arranged so that the field line of a first activated pair crosses the field line of a second activated pair.

(57) Abrégé :

[Suite sur la page suivante]



WO 2013/045862 A1



Dispositif de détection et de localisation de défauts dans un corps comprenant des couples d'électrodes, des moyens d'activation pour activer successivement les couples, et des moyens d'émission pour envoyer un signal électrique d'une première vers une seconde électrode de chaque couple activé formant ainsi une ligne de champ entre les électrodes du couple activé, et des moyens d'analyse du signal électrique reçu par la seconde électrode du couple activé. Le dispositif comprend un boîtier (1) ayant une surface (11) sur laquelle sont agencées les premières ou les secondes électrodes, et des moyens de connexion aptes à relier individuellement les électrodes à une interface diélectrique (5) qui comprend les moyens d'analyse ainsi que les moyens d'activation. Au moins deux couples d'électrodes sont agencées de sorte que la ligne de champ d'un premier couple activé croise la ligne de champ d'un second couple activé.

DISPOSITIF DE DETECTION DE DEFAUT ET PROCEDE METTANT EN OEUVRE UN TEL DISPOSITIF

5 La présente demande concerne un dispositif un dispositif de détection et de localisation de défauts dans un corps au moyen d'une analyse des perturbations de champs électriques créés dans le corps.

 De manière générale, la présente invention concerne la détection et la localisation de défauts dans un corps de manière non invasive. Le corps peut-être par
10 exemple un panneau d'aéronef en matériau composite ou encore un corps humain ou animal.

 La présente invention est cependant plus particulièrement destinée à la détection de défauts dans des structures en matières composites, notamment des matières synthétiques composites comme par exemple des matériaux synthétiques
15 intégrant des fibres et obtenus par polymérisation.

 Par exemple, pour intégrer des corps en mousses, ou en matériaux composites, dans une structure d'aéronef, il est nécessaire de disposer de techniques d'analyse permettant de détecter et localiser un défaut (que ce soit une anomalie ou un endommagement) par une méthode non destructive, et d'aider à établir un diagnostic
20 qui permettra d'établir si l'état du corps est admissible pour conserver une intégrité suffisante de la structure.

 Il existe des systèmes par radiation, comme par exemple des méthodes ultrasonores, permettant de détecter la présence d'un défaut dans une structure ou un corps. Pour localiser un défaut, il existe des systèmes tomographiques basés sur un
25 principe de triangulation spatiale. Toutefois, ces systèmes ne permettent de détecter que certains types de défauts, et ne permettent pas de les identifier, c'est-à-dire qualifier leur nature. Dans le cas de défauts non détectables par ces systèmes, il n'est alors pas possible d'établir un diagnostic sur la base d'une reconstruction en deux dimensions (2D), voire en trois dimensions (3D), du milieu considéré.

30 Il est connu de réaliser une mesure de permittivité pour suivre un procédé de polymérisation de résine et de matériaux composites. Le document US-5,219,498 révèle par exemple un tel procédé.

 Dans le domaine aéronautique, il est connu d'utiliser un capteur diélectrique afin de détecter la présence de glace ou de givre sur un aéronef, une telle
35 application d'un capteur diélectrique est décrite dans le document FR-2 904 603.

Un tel principe est applicable aux matériaux composites, mais présente aussi l'avantage d'être applicable aux matériaux organiques, voire aux organismes. En effet, les charges électriques appliquées aux électrodes étant de quelques milliampères, et à des fréquences de l'ordre de quelques douzaines de kilohertz, un tel principe est par exemple compatible avec une analyse d'un corps, humain ou animal.

Toutefois, une telle mesure de permittivité, par exemple sur un matériau composite, permet de détecter la présence d'un défaut (c'est-à-dire qu'une telle mesure permet de savoir si un champ électrique entre deux électrodes rencontre un défaut) et d'identifier la nature du défaut, mais elle ne permet pas de le localiser.

Un des buts de la présente invention est de proposer un dispositif qui permette à la fois de détecter, localiser et caractériser la nature d'un défaut au sein d'un corps.

A cet effet, est proposé un dispositif de détection et de localisation de défauts dans un corps, ledit dispositif comprenant une pluralité de couples d'électrodes, chaque couple comprenant une première et une seconde électrode de polarités opposées, ledit dispositif étant caractérisé en ce qu'il comprend des moyens d'activation configurés pour activer successivement les couples d'électrodes, dits couples activés, et des moyens d'émission adaptés à envoyer un signal électrique de la première électrode vers la seconde électrode de chaque couple activé formant ainsi une ligne de champ entre les électrodes du couple activé, et des moyens d'analyse du signal électrique reçu par la seconde électrode du couple activé, le dispositif comprend un boîtier ayant une surface sur laquelle sont agencées les unes de la première ou de la seconde électrode de la pluralité de couples, et des moyens de connexion aptes à relier individuellement la première et la seconde électrode de chacun des couples à une interface diélectrique, ladite interface diélectrique comprend les moyens d'analyse du signal électrique ainsi que les moyens d'activation, et en ce qu'au moins deux couples d'électrodes sont agencés de telle sorte que la ligne de champ formée entre les électrodes d'un premier couple activé croise la ligne de champ formée entre les électrodes d'un second couple activé.

Les électrodes sont des anodes et des cathodes. Selon le mode de réalisation, le signal peut être émis d'une anode vers une cathode, ou d'une cathode vers une anode.

On appelle ici analyse « transverse », une analyse effectuée lorsque d'une part les premières électrodes et d'autre part les secondes électrodes de chacun des couples du dispositif selon l'invention sont positionnées de part et d'autre d'un corps et

en vis-à-vis. On appelle « analyse horizontale » une analyse effectuée lorsque les premières électrodes et les secondes électrodes du dispositif selon l'invention sont sensiblement dans un même plan, l'analyse est dans ce cas fondée sur une propriété du champ électrique lui conférant une capacité de courbure.

5 On appelle ici « ligne de champ » un parcours théorique du champ électrique entre la première et la seconde électrode d'un couple, qui est généralement un segment de droite lors d'une mesure transverse ou une portion de courbe lorsque les électrodes d'un couple sont dans un même plan.

L'interface diélectrique comprend les moyens d'analyse du signal électrique
10 reçu par les secondes électrodes, et, de préférence, des moyens de conversion analogique/numérique. L'interface diélectrique est de préférence située dans un microcontrôleur, qui comprend de manière classique les éléments essentiels d'un ordinateur : processeur, mémoires (mémoire morte pour le programme, mémoire vive pour les données), unités périphériques et interfaces d'entrées-sorties. Selon un
15 exemple de réalisation, le convertisseur analogique/numérique est intégré sur un die (un circuit intégré).

Les moyens d'analyses du signal électrique reçu par les secondes électrodes sont de type informatique : ils permettent une analyse par éléments finis des signaux, analyse du déphasage, comparaison avec un abaque numérique, une
20 reconstruction du corps analysé par des moyens de reconstruction 3D comme par exemple un logiciel de reconstruction géométrique.

Une image du volume analysée peut être obtenue à partir des données calculées issues des moyens de reconstruction 3D.

Dans le cas d'analyses transverses ou horizontales, les moyens d'analyse
25 permettent de détecter les défauts présents dans un corps (corps humain, animal, ou matériau) grâce à la distorsion du champ magnétique entre les deux électrodes d'un même couple, puisque les spécificités de polarisation diélectrique seront différentes entre la matière inspectée et les défauts. Il est ainsi possible de détecter des défauts par comparaison des propriétés du champ électrique entre les deux électrodes par
30 rapport aux propriétés attendues du champ électrique pour la matière inspectée.

Les moyens d'analyse permettent de reconstituer des zones analysées en 2D ou en 3D à partir des caractéristiques de permittivité, d'amplitude, de phase et de fréquence d'un signal électromagnétique transitant entre les deux électrodes d'un même couple.

Ainsi, les moyens d'analyses permettent notamment de calculer la permittivité du milieu considéré. Les mesures de permittivité permettent de localiser et identifier des défauts, et le croisement entre les lignes de champ permet ultérieurement d'établir des corrélations afin de localiser des défauts. En outre, l'analyse de l'évolution du déphasage en fonction de la variation de la fréquence du signal transitant entre les deux électrodes d'un même couple permet également de caractériser le milieu

Les moyens d'activation simultanée de la première et de la seconde électrode d'un même couple comprennent des portes-logiques et des moyens de commande associés.

Les moyens d'activation sélectionnent successivement des couples d'électrodes de sorte qu'un signal ne soit émis que par une première électrode à la fois et ne puisse être reçu que par la seconde électrode du même couple afin d'éviter toute interférence ou dispersion de champ qui brouillerait la réception du signal. En outre, les couples sont activés de sorte que les lignes de champ des différents couples se croisent.

De préférence, le dispositif comprend un circuit intégré analogique, qui comprend par exemple de simples transistors, de manière à pouvoir faire le lien entre les électrodes et l'interface via par exemple un câble parallèle en guise de moyens de connexion.

Le dispositif comprend aussi de préférence des moyens de communication entre l'interface diélectrique et un ordinateur. L'ordinateur comporte un écran permettant d'afficher une image en 2D ou en 3D de la zone analysée.

L'ordinateur peut, en complément des moyens de reconstruction 3D présents dans l'interface, reconstituer une image à partir des différents résultats d'analyse. De préférence, les corps électroniques sont choisis de sorte que l'encombrement du système est minimal.

Toutefois, les électrodes doivent être disposées de sorte qu'au moins deux lignes de champs se croisent de sorte à pouvoir corrélérer les signaux. L'intersection de deux lignes de champs définit ainsi un point de mesure.

Deux couples sont donc au moins nécessaires pour pouvoir corrélérer l'information. Toutefois, plus il y aura de couples, meilleur sera le résultat.

En effet, plus il y aura de couples, plus il pourra y avoir de points de mesure, et donc plus l'analyse sera précise.

De préférence, il y a un même nombre de premières et de deuxièmes électrodes, c'est-à-dire qu'il y a autant d'anodes que de cathodes.

Par exemple, avec un dispositif comprenant deux anodes et deux cathodes, il est possible de former quatre couples, mais, selon leur disposition, seuls deux des couples permettront d'obtenir un point de mesure.

5 Chaque électrode (anode ou cathode) est identifiée, au niveau de l'interface diélectrique, par une référence numérique. Ceci permet notamment de connaître la position de chacune des électrodes et de déterminer la distance entre la première et la seconde électrode d'un couple.

De préférence, les premières et secondes électrodes sont positionnées de manière homogène, c'est-à-dire à distance régulière les unes des autres, de sorte à
10 faciliter ultérieurement le traitement numérique.

La forme et la densité d'électrode peuvent varier en fonction de la précision de mesure souhaitée.

Dans le cas d'une analyse transverse, les unes de la première ou de la seconde électrode de la pluralité de couples d'électrodes sont agencées sur la surface
15 plane du boîtier avec, de préférence une densité d'électrodes d'au moins une électrode par 0.5 mm² (millimètres carré).

De préférence, les autres de la première ou de la seconde électrode de la pluralité de couples d'électrodes sont réparties sur une nappe.

20 Selon un exemple de réalisation, le dispositif comprend une nappe présentant les premières électrodes. Les secondes électrodes sont quant à elles comprises sur le boîtier, qui est déplacé sur le corps à analyser, sensiblement parallèlement à la nappe présentant les premières électrodes. On entend ici par nappe une plaque flexible de sorte qu'il est possible de l'adapter à tout type de surface d'un corps, quel qu'il soit.

25 Les premières électrodes, comme les secondes électrodes, sont de préférence fixées sur un maillage. Chaque électrode (anode ou cathode) est reliée à l'interface via un câble parallèle (moyen de connexion), qui permet de relier chacune des électrodes à l'interface via une connectique intégrée dans le maillage.

30 La position de chaque électrode (cathode ou anode) dans son maillage est ainsi identifiée grâce aux moyens de connexion : un câble de la connectique correspond à une électrode.

Le maillage est par exemple un élément réalisé en polymère sur lequel sont fixés les électrodes et la connectique des électrodes. Selon un autre exemple, le maillage est une carte de circuit imprimé avec d'un côté un réseau d'électrodes (anode
35 ou cathode) très fin et de l'autre des circuits intégrés analogiques reliés aux électrodes.

Selon encore un autre exemple, le maillage est réalisé par une impression d'électrodes (anodes ou cathodes) conductrices sur une feuille de résine polymère souple (pour la nappe par exemple) l'ensemble des électrodes étant connecté de l'autre côté de la feuille (grâce à différents feuillets) à une carte fixée en bout (avec toujours des circuits intégrés qui permettent de raccorder l'ensemble des électrodes).

Dans le cas d'analyses transverses, il y a donc un premier maillage pour les premières électrodes, et un deuxième maillage pour les secondes électrodes.

Selon un autre exemple de réalisation, les moyens de connexion sont par radiofréquence de données comme expliqué par la suite.

Chaque électrode est alors munie d'une antenne, et l'interface diélectrique comprend aussi une antenne.

Selon un exemple de réalisation, et dans le cas d'une analyse transverse, les électrodes de la nappe ont une forme de barrette et sont réparties selon au moins un rang de manière parallèle entre elles.

De préférence, les électrodes sont réparties sur plusieurs rangs. Chaque électrode est reliée à l'interface, comme décrit précédemment. Des électrodes en forme de barrettes (ou de bâtonnet), permettent de recouvrir une grande surface en minimisant le nombre d'électrodes nécessaires. Et de préférence, un rang comprend au moins une électrode tous les 0,5 mm, voire de préférence une électrode tous les 0,1 mm.

Selon un mode préférentiel de réalisation, l'analyse est horizontale. Dans ce cas, les électrodes de la pluralité de couples d'électrodes sont toutes agencées sur la surface du boîtier. La surface du boîtier comprend alors les premières et les secondes électrodes des couples.

Un tel dispositif permet d'effectuer des mesures en se basant sur la propriété de courbure du champ électrique, ce qui permet en outre d'avoir un dispositif particulièrement compact et maniable. D'autre part, l'utilisation d'un tel dispositif est plus pratique, car contrairement au cas d'une analyse transverse, les premières et les secondes électrodes n'ont pas besoin d'être situées de part et d'autre du corps à analyser.

Il est alors possible de réaliser des analyses à différentes profondeurs dans le corps en fonction de la géométrie des électrodes (anodes et cathodes), et du boîtier. Par exemple, cette profondeur peut varier en fonction de l'écartement entre les électrodes. Ce dernier paramètre est toutefois fixé lors de la fabrication du boîtier, les électrodes ayant une position fixe dans leur maillage.

De préférence, lorsque toutes les électrodes sont sur le boîtier, un seul maillage comprend les premières et les secondes électrodes.

Selon un exemple de réalisation, les premières et les secondes électrodes sont réparties en quinconces, soit selon une répartition homogène de premières et secondes électrodes sur toute la surface, soit avec les premières électrodes regroupées sur une première partie de la surface du boîtier, et les secondes électrodes regroupées sur une deuxième partie, distincte de la première.

En outre, quelle que soit la répartition des électrodes dans le maillage, il est préférable que la première et la seconde électrode d'un même couple soient séparées d'une distance qui est la même pour chacun des couples pour faciliter le traitement numérique.

Et de préférence, toutes les électrodes, anodes ou cathodes, sont à égales distances les unes des autres pour faciliter encore d'avantage le traitement numérique.

Pour que les points de mesure puissent détecter la plupart des défauts, et notamment les défauts de petites dimensions, par exemple de l'ordre de quelques dizaines de micromètres, les électrodes sont agencées sur la surface du boîtier avec une densité d'électrodes d'au moins une électrode par 0.5 mm², et de préférence, d'une électrode par 0,1 mm².

Selon un mode préférentiel de réalisation, les premières et secondes électrodes de chaque couple sont disposées en cercle sur la surface du boîtier.

Une répartition en cercle permet de réaliser des points de mesure dans un volume de matériau du corps avec un minimum d'électrode, juste en faisant varier, par exemple, l'intensité et la fréquence du signal.

Selon un exemple de réalisation, la surface du boîtier comprend plusieurs cercles concentriques. La première et la seconde électrode d'un même couple sont dans ce cas, de préférence, situées sur un même cercle.

De préférence, la surface du boîtier a une forme de disque, de sorte qu'il est en outre possible que toute la surface soit recouverte de cercles concentriques d'électrodes.

Une telle disposition est bien entendu tout aussi avantageuse pour un dispositif de mesures transverses où seules les unes des premières ou secondes électrodes de chaque couple sont positionnées à la surface du boîtier.

Quelles que soient leur disposition et leur répartition, les premières et les secondes électrodes peuvent présenter différentes formes. Selon un exemple mentionné précédemment, une électrode peut avoir une forme de barrette (ou

bâtonnet). Une électrode peut aussi avoir une forme circulaire, i.e. de pastille, ou une forme plus complexe, par exemple une forme d'étoile. La forme des électrodes est choisie en fonction de la dispersion du champ électrique qui pourrait être induit, par exemple en fonction de l'application à laquelle est destiné le dispositif.

5 Par ailleurs, les électrodes sont de préférence toutes de la même taille. En outre, afin d'avoir un dispositif compact, chaque électrode présente au moins une surface inférieure à 0,5 mm², voire de préférence 0,1 mm².

Selon un mode préférentiel de réalisation, les premières et les secondes électrodes de chaque couple ont une même forme, et ont une forme de pastille.

10 Est aussi proposé un procédé de détection et de localisation de défaut dans un corps, le procédé mettant en œuvre un dispositif de mesure horizontale, le boîtier étant positionné sur une surface du corps, et le procédé comprenant les étapes suivantes :

15 • Activer successivement les couples d'électrodes via les moyens d'activation ;

Pour chaque couple activé :

• Emettre, via les moyens d'émission, un signal électrique vers la seconde électrode d'un couple activé à partir de la première électrode du couple activé.

20 • Réceptionner le signal électrique reçu à la seconde électrode du couple activé et transmettre le signal électrique reçu à l'interface diélectrique via les moyens de connexion ;

• Analyser, via les moyens d'analyse du signal électrique, le signal électrique transmis à l'interface diélectrique ;

25 • Comparer le signal électrique transmis à un signal étalon de sorte à détecter un défaut dans le corps ;

Pour l'ensemble des couples activés :

30 • Enregistrer l'ensemble des signaux électriques reçus aux secondes électrodes des couples d'électrodes successivement activés et analyser, via les moyens d'analyse du signal électrique, les signaux électriques enregistrés de sorte à localiser un défaut dans le corps.

Il doit y avoir une conduction entre le boîtier et le corps à analyser, ainsi qu'entre la nappe et le corps dans le cas d'une analyse transverse. Dans le cas d'un

corps humain ou animal, il peut être alors nécessaire d'ajouter une solution conductrice liquide entre les supports des électrodes de chaque couple et le corps à analyser.

Chaque matériau ou défaut a une fréquence caractéristique à laquelle sa permittivité varie fortement.

5 L'activation d'un premier couple d'électrode et l'analyse de la réponse (c'est-à-dire du signal reçu par la seconde électrode en fonction du signal émis par la première électrode) permet de savoir s'il y a un défaut entre ces deux électrodes. Si tel est le cas une étape supplémentaire consiste à faire varier la fréquence du signal émis en calculant la permittivité (par analyse du signal reçu) pour déterminer un signal
10 caractéristique et ainsi en déduire la nature du défaut (grâce aux logiciels de calcul et d'analyse), par exemple par analyse par éléments finis.

La comparaison de la réponse diélectrique (grâce aux variations de signal en fréquences et intensités) avec des valeurs théoriques (par exemple des abaques, ou une réponse connue du milieu sain) permet de connaître l'existence et la nature du
15 défaut.

Un couple à la fois est activé pour éviter la dispersion du champ, mais au moins deux couples, dont les lignes de champs se croisent, doivent être activés pour pouvoir aussi localiser le défaut.

20 Selon le mode de réalisation préférentiel dans lequel les couples d'électrodes sont positionnés en cercles concentriques, un exemple de mise en œuvre du procédé consiste à activer successivement les couples situés sur le cercle de plus grand diamètre, puis ainsi de suite jusqu'au cercle du plus petit diamètre.

De préférence, pour une position du boîtier, le procédé continue jusqu'à ce que tous les couples aient été activés une fois. Toutefois, il est possible d'arrêter le
25 balayage une fois que l'image affichée est suffisamment correcte (c'est-à-dire soit aux yeux d'un opérateur, soit selon un critère numérique par exemple).

Il est ensuite possible de déplacer le boîtier pour couvrir une plus grande partie du corps, et de réitérer pour chaque position les étapes du procédé.

30 Le boîtier est déplacé, manuellement ou automatiquement, sans limite de vitesse.

Selon un premier exemple, des moyens de reconstruction 3D gèrent la reconstruction de l'image de la zone dans sa totalité suite aux différentes positions du boîtier grâce à une reconnaissance géométrique, par exemple une corrélation d'image entre des parties d'images correspondant à chacune des positions du boîtier.

Selon un autre exemple, le boîtier est par exemple maintenu à une première position, de sorte que les points de mesure sondent un premier volume dans le corps, et pendant quelques secondes pour que plusieurs couples aient pu être activés, jusqu'à ce que l'image affichée présente une qualité suffisante (c'est-à-dire aux yeux d'un utilisateur ou selon un critère numérique, comme par exemple une minimisation d'erreur). Ensuite, le boîtier est déplacé de sorte que les points de mesure sondent un deuxième volume dans le corps, qui a de préférence une partie commune avec le premier volume. Ainsi, les moyens de reconstruction 3D, par exemple par corrélation entre les résultats de mesures réalisés, reconstituent en trois dimensions l'ensemble du premier et du deuxième volume.

Selon un encore un autre exemple, l'interface comprend en outre des moyens de localisation du boîtier, ce qui permet de connaître sa position à tout instant, et donc celles des électrodes et des points de mesure. Ceci peut être réalisé, par exemple grâce à une liaison par câble ou par RFID.

Selon un exemple de réalisation dans lequel le dispositif permet de réaliser des mesures transverses, le procédé de détection et de localisation de défaut dans un corps mettant en œuvre un dispositif de mesures transverses, le boîtier étant positionné sur une première surface du corps et une nappe étant positionnée sur une seconde surface du corps, ladite seconde surface étant parallèle à la première surface, les première et seconde surfaces étant situées de part et d'autre du corps, le procédé comprend les étapes suivantes :

- Activer successivement les couples d'électrodes via les moyens d'activation ;
Pour chaque couple activé :
- Emettre, via les moyens d'émission, un signal électrique vers la seconde électrode d'un couple activé à partir de la première électrode du couple activé.
- Réceptionner le signal électrique reçu à la seconde électrode du couple activé et transmettre le signal électrique reçu à l'interface diélectrique via les moyens de connexion ;
- Analyser, via les moyens d'analyse du signal électrique, le signal électrique transmis à l'interface diélectrique ;
- Comparer le signal électrique transmis à un signal étalon de sorte à détecter un défaut dans le corps ;

Pour l'ensemble des couples activés :

- Enregistrer l'ensemble des signaux électriques reçus aux secondes électrodes des couples d'électrodes successivement activés et analyser, via les moyens d'analyse du signal électrique, les signaux électriques enregistrés de sorte à localiser un défaut dans le corps.

5

Un tel dispositif et son procédé peuvent être appliqués à tout type de domaine, dont le domaine médical. Il est par exemple possible de sonder un panneau composite sur un aéronef, ou un corps.

10

Par ailleurs, les dispositifs de l'art antérieur ne permettent pas de réaliser à la fois un suivi du procédé de polymérisation et de détecter l'apparition de défauts lors de l'utilisation d'un corps en matériau composite.

15

Un capteur diélectrique, ou un dispositif de mesure de permittivité, peut être utilisé lors de la polymérisation d'un matériau composite afin de s'assurer de la bonne polymérisation du matériau. Une mesure de même type peut par la suite être réalisée pour vérifier le bon état du matériau au cours de son utilisation. Une mesure de permittivité permet notamment de détecter une délamination qui survient par exemple suite à un choc ou lorsque le matériau a été soumis à des contraintes importantes.

20

Sont également décrits ici des moyens autonomes pour réaliser une mesure de permittivité d'un matériau composite, par exemple lors de la fabrication – polymérisation – de ce matériau, puis ensuite au cours de la vie de ce matériau.

25

À cet effet, un dispositif de mesure de permittivité électrique comporte une première électrode (une anode), une seconde électrode (une cathode) distante de la première électrode, des moyens permettant de créer un champ électrique à partir de la première électrode et des moyens d'analyse d'un signal électrique reçu par la seconde électrode, des moyens de transmission par radiofréquence de données, ainsi que des moyens de communication entre les moyens d'analyse d'un signal électrique reçu par la seconde électrode et les moyens de transmission par radiofréquence de données.

30

Ce dispositif de mesure comporte en outre :

- un premier ensemble présentant la première électrode, les moyens permettant de créer un champ électrique à partir de la première électrode, ainsi qu'une première antenne RFID (acronyme de l'anglais Radio Frequency Identification, soit en français radio-identification) associée à une première capacité, et

5 - un second ensemble présentant la seconde électrode, les moyens d'analyse du signal électrique reçu par la seconde électrode, ainsi qu'une deuxième antenne RFID associée à une deuxième capacité.

On réalise de la sorte un capteur autonome permettant de mesurer une permittivité – ou une conductivité électrique – qui peut réaliser localement la mesure de permittivité en analysant le signal électrique reçu par la seconde électrode, et qui peut
10 en outre être géré à distance tant en ce qui concerne son alimentation en énergie que pour la transmission des résultats des mesures effectuées.

Un tel dispositif permet de réaliser des mesures de permittivité au travers d'un matériau, notamment lorsque les électrodes du dispositif sont distantes l'une de
15 l'autre de plusieurs millimètres ou plusieurs centimètres.

Le fait d'avoir un capteur (dispositif de mesure) autonome, sans fil, permet de faciliter sa mise en œuvre et aussi la lecture des résultats obtenus. Il devient envisageable d'implanter un tel dispositif de mesure sur une pièce en matière composite, ou au cœur de celle-ci, afin de faire des mesures de permittivité lors de la
20 fabrication de ladite pièce, notamment au cours d'une étape de polymérisation, mais aussi ultérieurement lors de l'utilisation de la pièce. Toutes ces mesures peuvent alors être réalisées sans avoir à intervenir sur la pièce et à tout moment, ponctuellement ou selon une fréquence prédéterminée.

Dans un tel dispositif de mesure de permittivité électrique, les moyens de
25 transmission par radiofréquence utilisent par exemple la technologie RFID et comportent alors de préférence une antenne se présentant sous la forme d'une bobine, ainsi qu'une capacité associée à l'antenne. Cette technologie est particulièrement bien adaptée ici car elle permet, d'une part, d'alimenter sans contact en énergie le dispositif de mesure et, d'autre part, de transmettre des données de manière fiable. En outre, les
30 distances de transmission d'énergie et de données sont bien adaptées, et adaptables, à la réalisation de mesures lors de processus de fabrication et dans un ensemble mécanique assemblé.

Pour avoir un dispositif de mesure de permittivité électrique compact, il est prévu que les moyens permettant de créer un champ électrique, les moyens d'analyse

d'un signal électrique et les moyens de communication sont avantageusement regroupés au sein d'un microcontrôleur.

De préférence, le premier ensemble comprend un microcontrôleur intégrant au moins les moyens permettant de créer un champ électrique et le second ensemble
5 comprend un microcontrôleur intégrant au moins les moyens d'analyse du signal électrique.

Un tel dispositif de mesure de permittivité électrique peut également comporter une mémoire non volatile, avec de préférence une mémoire au sein de chacun des ensembles. Ainsi, des valeurs mesurées peuvent par exemple être
10 mémorisées au sein du dispositif de mesure.

Un tel dispositif de mesure de permittivité électrique peut être un dispositif actif et comporter une source d'alimentation en énergie autonome mais il peut également s'agir d'un dispositif passif qui n'est alimenté en énergie par exemple que
par un dispositif de type lecteur RFID.

Le dispositif de mesure de permittivité électrique peut se présenter sous une forme étagée comportant un premier niveau avec la première électrode et la seconde électrode disposées de manière coplanaire et un second niveau avec une
15 antenne plane et des moyens électroniques, une couche de matériau isolant électrique étant disposée entre le premier niveau et le second niveau, et le second niveau étant recouvert d'un matériau isolant thermique. Cette forme de réalisation permet d'avoir un
20 dispositif de dimensions réduites. Elle est adaptée à une mesure locale de permittivité.

Dans le cas où le dispositif comprend un premier et un second ensemble, le premier ensemble se présente de préférence sous une forme étagée comportant un premier niveau avec la première électrode et un second niveau avec au moins
25 l'antenne plane, une couche de matériau isolant électrique est disposée entre le premier niveau et le second niveau, et le second niveau est de préférence recouvert d'un matériau isolant thermique. De préférence, le second ensemble se présente sous une forme étagée comportant un premier niveau avec la deuxième électrode et un second niveau avec au moins l'antenne plane, une couche de matériau isolant
30 électrique est disposée entre le premier niveau et le second niveau, et le second niveau est recouvert d'un matériau isolant thermique.

Pour réaliser des mesures de permittivité au travers d'un matériau, notamment lorsque les électrodes du dispositif sont distantes l'une de l'autre de plusieurs millimètres ou plusieurs centimètres, le premier ensemble et le second
35 ensemble sont de préférence reliés tous deux à une masse commune.

Le dispositif de mesure de permittivité peut ainsi être mis en œuvre dans un procédé de détection de défauts dans un corps en matériau synthétique polymère composite d'une structure, comme par exemple un panneau, comportant les étapes suivantes :

- 5 - mise en place d'au moins un dispositif de mesure de permittivité électrique tel que décrit plus haut à la surface du corps avant polymérisation du matériau,
- polymérisation du matériau et finition de la structure,
- montage de la structure dans un ensemble fonctionnel,
- 10 - interrogation du dispositif de mesure de permittivité électrique à l'aide d'un lecteur de type RFID,
- transmission d'un résultat de mesure de permittivité électrique obtenu lors de l'étape précédente à un dispositif de gestion et de contrôle de l'ensemble fonctionnel.

15 Un tel procédé comporte en outre avantageusement une étape d'interrogation du dispositif de mesure de permittivité électrique lors de l'étape de polymérisation du matériau par un lecteur de type RFID.

Dans ce procédé de détection de défauts, il est proposé plusieurs manières de disposer une anode et une cathode pour réaliser une mesure de permittivité. Il est ainsi par exemple prévu :

- 20 - qu'une anode d'un dispositif de mesure de permittivité électrique soit introduite dans une zone du corps saturée en résine, et qu'une cathode soit disposée perpendiculairement à l'anode, ou
- qu'une anode et une cathode d'un dispositif de mesure de permittivité
- 25 électrique s'étendent chacun sur un bord du corps sur toute la hauteur de celui-ci, ou
- qu'une anode et une cathode d'un dispositif de mesure de permittivité électrique soient disposées chacune sur un bord du corps à une distance prédéterminée d'une même face dudit corps.

Est également concerné un corps réalisé en matériau synthétique composite, comportant au moins un dispositif de mesure de permittivité électrique tel que décrit ci-dessus.

30 Selon un exemple de réalisation, le matériau synthétique composite comprend au moins deux plis, et l'anode et la cathode recouvrent chacune au moins partiellement un pli, ce qui permet d'avoir une mesure locale.

Selon un autre exemple de réalisation, dans un corps en matériau synthétique composite comprenant au moins deux plis, l'anode et/ou la cathode est située entre deux des plis.

Et enfin, est concerné un aéronef, intégrant au moins un tel corps.

5 Des détails et avantages de la présente invention ressortiront mieux de la description qui suit, faite en référence aux dessins schématiques annexés sur lesquels :

La figure 1 illustre schématiquement un principe de base, déjà connu, sur lequel repose la présente invention,

10 La figure 2 illustre schématiquement un dispositif par RFID appliqué par exemple à la détection d'une délamination dans un matériau composite,

La figure 3 illustre sous forme d'un schéma blocs un dispositif de mesure de permittivité électrique passif par RFID,

La figure 4 correspond à la figure 3 pour un dispositif de mesure actif,

15 La figure 5 illustre schématiquement une variante de réalisation d'un dispositif de mesure passif,

La figure 6 illustre une variante de dispositif de mesure sans fil en communication avec un lecteur RFID,

20 La figure 7 est un schéma blocs illustrant un microcontrôleur pouvant être utilisé dans un dispositif de mesure par RFID,

La figure 8A est une vue schématique en perspective d'un dispositif de mesure sans fil sous forme étagée,

La figure 8B est une vue de dessus d'une antenne du dispositif de la figure 8A,

25 La figure 8C est une vue schématique des électrodes du dispositif de mesure illustré sur la figure 8A,

La figure 9 est une vue de dessus d'une variante de réalisation d'un dispositif sans fil,

30 La figure 10 illustre un procédé de l'art antérieur pour une mesure de permittivité dans une structure réalisée dans un matériau composite,

La figure 11 illustre schématiquement un procédé de détection d'un défaut dans une structure en matériau composite grâce à un dispositif par RFID,

La figure 12 illustre schématiquement une première application d'un dispositif de mesure par RFID,

La figure 13 illustre schématiquement une seconde application de dispositifs de mesure par RFID,

La figure 14 illustre le positionnement d'électrodes d'un dispositif de mesure de permittivité électrique par RFID sur une structure réalisée en matériau composite,

Les figures 15 et 16 sont des figures équivalentes à la figure 14 pour des variantes de réalisation.

La figure 17 représente un dispositif de détection de défaut selon un aspect de l'invention.

La figure 18 représente un boîtier comprenant en surface M cathodes.

La figure 19 illustre un exemple de réalisation d'une nappe d'anodes.

La figure 20 illustre schématiquement un croisement de deux lignes de champ.

La figure 21 représente un exemple de réalisation selon lequel les anodes et les cathodes sont positionnées sur une surface du boîtier.

La figure 22 présente un mode de réalisation du boîtier où les électrodes sont positionnées en cercle.

On suppose dans la description qui suit que la technologie dite RFID (de l'acronyme anglais Radio Frequency Identification, soit en français radio-identification) est connue de l'homme du métier et seuls les grands principes seront repris ici.

Ainsi, la technologie RFID est une technologie qui permet de réaliser sans contact une identification. Cette technologie met en œuvre une étiquette appelée également tag ou bien encore identifiant ainsi qu'un lecteur. Sans que le lecteur rentre en contact avec l'étiquette, la technologie RFID permet un transfert d'énergie du lecteur vers l'étiquette et un échange de données bidirectionnel entre ces deux éléments. Ces échanges sont réalisés grâce à l'établissement d'un champ électromagnétique entre une antenne implantée au niveau du lecteur et une autre antenne implantée au niveau de l'étiquette.

Un couplage essentiellement inductif ou essentiellement électrique est réalisé entre le lecteur et l'étiquette correspondante. Le couplage inductif est utilisé notamment lorsque le lecteur est proche de l'étiquette (distances allant de quelques centimètres à quelques mètres). Les échanges par radiofréquence entre les éléments du système RFID se font alors à une fréquence de 125 kHz ou de 13,56 MHz. L'antenne de chaque élément est alors une bobine. Dans le cas d'un couplage

électrique, l'antenne est généralement un conducteur filaire et la fréquence utilisée est comprise entre 860 et 950 MHz ou bien encore 2,45 GHz.

Dans la suite de la description, il sera plutôt question de systèmes RFID utilisant un couplage magnétique mais un couplage électrique pourrait bien entendu également être envisagé.

La figure 1 illustre de manière schématique quant à elle un principe physique permettant la mesure de la permittivité électrique d'un corps 2. Il est connu que la mesure de cette permittivité permet de déterminer, pour un matériau composite, l'état de celui-ci. On considère ici comme matériau composite un matériau synthétique dans lequel des fibres, telles par exemple des fibres de carbone ou d'aramide sont noyées dans une résine d'un matériau polymère. Pour réaliser un tel matériau, les différents corps sont assemblés puis le matériau est disposé dans un autoclave, ou similaire, afin de réaliser la polymérisation de la résine. On obtient alors un matériau rigide qui peut être utilisé pour réaliser un élément structurel.

Une première électrode, appelée par la suite anode 4, est excitée de manière à créer un champ électrique variable illustré schématiquement par une courbe S1 à gauche du corps 2. On suppose que l'anode 4 est directement au contact du corps 2. Le champ électrique (illustré par S1) crée une polarisation électrique dans le corps 2. Une seconde électrode, appelée par la suite cathode 6, est placée directement au contact elle aussi du corps 2 à distance de l'anode 4. La cathode 6 reçoit alors un signal S2. Pour déterminer la permittivité du corps 2, le signal S2 est analysé par rapport au champ électrique créé dans le corps comme illustré sur la figure 1. Un calcul par éléments finis permet alors d'obtenir la permittivité ϵ .

Ce principe de mesure de permittivité est mis en œuvre en le combinant à la technologie RFID. La figure 2 illustre schématiquement un dispositif de mesure adapté.

Sur cette figure 2, on reconnaît une anode 4 venant au contact direct d'un corps 2 en matière composite. Une cathode 6 est également au contact direct du corps 2. La conductivité de l'anode 4 et celle de la cathode 6 sont très supérieures à la conductivité du matériau constituant le corps 2. On choisira alors par exemple des électrodes métalliques.

Une première antenne 8 présentant une forme bobinée est montée en parallèle avec une première capacité 10. Cette première antenne 8 est l'antenne d'un récepteur (étiquette) RFID. Lorsqu'un lecteur RFID (identifié par la suite lecteur 18) entre en communication avec la première antenne 8, un transfert d'énergie s'effectue

en direction du récepteur et cette énergie est stockée dans la première capacité 10. Cette énergie électrique transmise par le lecteur 18 est utilisée pour créer un champ électrique variable illustré par la courbe S1 de la figure 1 au niveau de l'anode 4. Le signal S2 (représenté figure 1) est alors induit au niveau de la cathode 6. L'anode 4, son antenne 8 et sa capacité 10, reliées à une masse 16, font ainsi partie du premier ensemble.

On trouve du côté de la cathode 6 une seconde antenne 12 en parallèle avec une seconde capacité 14, reliées aussi à une masse 16', faisant partie du second ensemble.

Cette seconde antenne 12 est utilisée pour transférer le résultat de la mesure effectuée vers un lecteur RFID. Il peut s'agir du même lecteur RFID 18 que celui qui est en communication avec la première antenne 8 ou bien d'un autre lecteur. On n'a pas représenté sur la figure 2 les moyens permettant de faire la mesure de la permittivité électrique du corps 2. Pour obtenir de bons résultats de mesure, il est toutefois possible que la première antenne 8 en liaison avec l'anode 4 soit par ailleurs à la masse avec une masse commune à celle de la seconde antenne 12 en liaison par ailleurs avec la cathode 6.

La figure 3 représente schématiquement un des deux ensembles du dispositif de mesure de permittivité avec un lecteur 18 associé.

Le dispositif de mesure comporte un capteur diélectrique 20, c'est-à-dire ici notamment l'anode 4 ou la cathode 6. Ce capteur est en liaison avec un microcontrôleur 22. Une double flèche 24 entre le capteur diélectrique 20 et le microcontrôleur 22 illustre l'envoi d'un signal généré par le microcontrôleur 22 vers le capteur diélectrique 20 et la réception par le microcontrôleur 22 d'un signal induit en provenance du capteur diélectrique 20.

Le microcontrôleur 22 est un circuit intégré rassemblant un microprocesseur, au moins une mémoire et des périphériques de communication. Ce microcontrôleur 22 sera décrit plus en détails en référence à la figure 7. Ce microcontrôleur 22 sert ici d'interface avec le capteur diélectrique 20 et calcule également la permittivité électrique à mesurer à l'aide de ce capteur diélectrique 20.

On a également représenté sur cette figure 3 une antenne, i.e. une bobine formant une inductance L et servant d'antenne réceptrice, une capacité C permettant d'accumuler de l'énergie reçue par l'inductance L, ainsi qu'une interface 26 avec le lecteur 18, cette interface 26 intégrant éventuellement une antenne distincte de l'inductance L. Cette interface 26 correspond ainsi aux moyens de transmission par

radiofréquence de données. Ainsi, l'antenne L et la capacité C correspondent soit à l'antenne 8 et capacité 10 de la figure 2 si le capteur 20 comprend une anode 4, soit à l'antenne 12 et capacité 14 de la figure 2 si le capteur 20 comprend une cathode 6,

Le dispositif de mesure de permittivité représenté sur la figure 3 est un
5 dispositif passif car il ne possède pas de source d'énergie interne. L'énergie nécessaire au fonctionnement du dispositif de mesure représenté sur cette figure est fournie par le lecteur 18. Lorsque celui-ci émet un signal électromagnétique, un couplage inductif est réalisé avec l'inductance L et de l'énergie est ainsi transférée vers le dispositif de mesure (délimité schématiquement par le cadre en traits pointillés).

10 L'inductance L reçoit donc le signal émis par le lecteur 18 et l'énergie transmise par le lecteur 18 est emmagasinée sous forme de charge électrique dans la capacité C. Lorsque la charge de cette capacité est suffisante, l'énergie correspondante est fournie au microcontrôleur 22. Celui-ci peut alors générer un signal qui est transmis au capteur diélectrique 20 dans le cas où il s'agit de l'ensemble
15 comprenant l'anode 4. Il traite ensuite le signal reçu en retour de ce capteur diélectrique 20 dans le cas où il s'agit de l'ensemble comprenant la cathode 6. Le résultat issu du traitement de signaux réalisés par le microcontrôleur 22 est alors communiqué sous forme de données à l'interface 26. Comme indiqué plus haut, cette
20 dernière possède son antenne propre. Toutefois, il est également envisageable d'utiliser l'inductance L comme antenne pour transmettre les données correspondant aux résultats de la mesure effectuée à l'aide du capteur diélectrique 20 et du microcontrôleur 22 au lecteur 18.

Entre le lecteur 18 et le dispositif de mesure, un échange de données, bidirectionnel, est également réalisé afin que le lecteur 18 et le dispositif de mesure,
25 qui correspond ici à une étiquette RFID, s'identifient et se reconnaissent l'un l'autre. Un tel échange et un tel processus d'identification sont classiques dans un système de type RFID.

La figure 4 illustre une variante de réalisation du dispositif de mesure de la figure 3. Il s'agit ici non plus d'un dispositif de mesure passif mais d'un dispositif de
30 mesure actif. On a en effet ici à l'intérieur du dispositif de mesure une pile 28, ou tout autre dispositif similaire permettant de fournir de l'énergie électrique. Cette pile 28 alimente en énergie électrique le microcontrôleur 22. De même que dans la forme de réalisation de la figure 3, le microcontrôleur 22 est en liaison avec le capteur diélectrique 20, qui comprend une anode 4 ou une cathode 6 pour réaliser la mesure
35 de permittivité proprement dite. L'interface 26, en tant que moyen de transmission,

comporte ici une antenne pour communiquer avec le lecteur 18. On a ici un lien bidirectionnel entre l'interface 26 et le lecteur 18 de même qu'entre le microcontrôleur 22 et l'interface 26. On réalise ainsi un échange de données pour l'identification entre le lecteur 18 et le dispositif de mesure en tant qu'étiquette RFID ainsi que la
5 transmission du dispositif de mesure vers le lecteur 18 du résultat de la mesure de permittivité effectuée.

Sur la figure 5, on a repris un dispositif de mesure de dispositif passif tel celui de la figure 3 dans lequel on suppose qu'une même inductance L , associée à sa capacité C , est utilisée comme antenne pour recevoir de l'énergie d'un lecteur RFID 18
10 (non représenté sur cette figure) et pour échanger des données avec ce lecteur 18. La figure 5 montre plus en détail l'interface 26 du dispositif de mesure de la figure 3.

Est également représenté sur cette figure 5 le microcontrôleur 22 et le capteur diélectrique 20 de la figure 3, ainsi qu'une mémoire 30 associée au microcontrôleur 22.

15 L'interface 26 comporte plusieurs modules remplissant chacun diverses fonctions pour permettre les échanges entre l'antenne (L) et le microcontrôleur.

Un premier module est un module d'initialisation 32 qui gère les mises en marche et arrêts du dispositif de mesure en fonction de l'énergie reçue au niveau de l'antenne (L) du dispositif.

20 Un second module, ou stabilisateur 34, agit pour rectifier et stabiliser le signal reçu par l'antenne (L). Ce module agit uniquement au sein de l'interface 26 et n'est pas en communication avec le microcontrôleur 22.

Avantageusement, une horloge 36 est prévue dans l'interface 26. Celle-ci permet alors de dater les mesures effectuées par le capteur diélectrique 20.

25 L'interface 26 comporte bien évidemment également un démodulateur 38 et un modulateur 40. Le démodulateur 38 permet de convertir le signal analogique reçu par l'antenne (L), en un signal numérique pouvant être traité par le microcontrôleur 22. De même, le modulateur 40 permet de convertir des informations numériques données par le microcontrôleur 22 en un signal analogique pouvant être transmis par l'antenne
30 (L).

Une gestion dynamique de la puissance du dispositif de mesure de permittivité est réalisée au sein d'un module de gestion de la puissance 42 se trouvant lui aussi dans l'interface 26.

Enfin, cette interface 26 contient un module anticollision 44 qui est utilisé notamment lorsqu'un lecteur RFID 18 doit communiquer avec plusieurs dispositifs de mesure à des fréquences distinctes.

La figure 6 a pour but de montrer plus en détail un lecteur 18 pouvant être associé à un dispositif de mesure de permittivité par RFID. Sur la droite de la figure 6, on a représenté un ensemble d'un tel dispositif de mesure. Dans celui-ci, on a représenté le capteur diélectrique 20 (qui comprend une anode 4 s'il s'agit du premier ensemble ou une cathode 6 s'il s'agit du second), le microcontrôleur 22 et une mémoire 30. L'interface 26 est ici représentée sous forme simplifiée. La mémoire 30 est par exemple une mémoire morte effaçable et programmable électriquement, connue plus couramment sous l'acronyme EEPROM (de l'anglais Electrically Erasable Programmable Read Only Memory).

On retrouve bien entendu du côté du dispositif de mesure une antenne avec notamment une inductance L . Le lecteur 18 comporte de son côté également une inductance L' . Lorsque l'inductance L' est excitée, un couplage inductif, symbolisé par un ovale 46, est réalisé au niveau des antennes du lecteur et du dispositif de mesure.

Dans la forme de réalisation prévue sur la figure 6, le lecteur 18 comporte une capacité C' variable qui permet ainsi d'émettre des signaux à différentes fréquences.

La structure de ce lecteur 18 est connue de l'art antérieur. On trouve ainsi dans ce lecteur un filtre passe-bande 48, un amplificateur 50 et un démodulateur 52. On s'intéresse ici uniquement à la partie du lecteur 18 permettant de lire les données correspondant aux résultats des mesures effectuées par le dispositif de mesure de permittivité. On retrouve en effet dans le lecteur 18 également des moyens d'échange (non représentés) de données pour ce qui concerne le procédé d'identification (connu de l'art antérieur) entre un lecteur RFID et une étiquette correspondante, ici le dispositif de mesure.

La figure 7 illustre quant à elle le microcontrôleur 22. Sur cette figure, on a représenté le microcontrôleur 22 en communication avec le capteur diélectrique 20 (qui comprend l'anode ou la cathode selon l'ensemble considéré) et relié également à l'interface 26 ainsi qu'à la mémoire 30. Cette dernière est par exemple ici aussi une mémoire de type EEPROM.

Comme indiqué précédemment, le microcontrôleur 22 permet au sein du dispositif de mesure de permittivité de réaliser le traitement du signal permettant de déterminer la permittivité à mesurer. Ainsi, le microcontrôleur 22 comporte tout d'abord

une interface 54 pour communiquer avec le capteur diélectrique 20. Cette interface 54 envoie un signal au capteur diélectrique 20 et reçoit en retour des signaux des électrodes du capteur diélectrique 20. Le signal d'excitation transmis par l'interface 54 au capteur diélectrique 20 est généré par un générateur de fréquence 56 intégré au microcontrôleur 22, notamment lorsqu'il s'agit du premier ensemble. Le générateur de fréquence 56 constitue ainsi, au moins en partie, les moyens permettant de créer un champ électrique à partir de l'anode 4.

Les signaux qui sont reçus du capteur diélectrique 20 par l'interface 54 sont quant à eux transmis à un convertisseur A/D 58 qui transforme les signaux analogiques reçus en des signaux numériques. Ces derniers peuvent être alors traités au niveau d'une puce 60 qui comporte un module de traitement de signaux numériques 62 dans lequel les signaux convertis sont introduits.

Les données ainsi traitées sont alors introduites dans un module de calibration et de comparaison 64 dans lequel les valeurs en provenance des signaux sont mises en forme de manière à pouvoir être comparées à des valeurs contenues dans des tables mémorisées au sein de la puce 60. Le module de traitement de signaux numériques 62 et le module de calibration et de comparaison 64 constituent ainsi, au moins en partie, les moyens d'analyse du signal électrique reçue par la cathode 6. Le résultat en sortie de ce module 64 correspond à la permittivité mesurée. Cette valeur est alors communiquée à un dispositif de gestion et de communication 66. Le dispositif de gestion et de communication 66 constitue, au moins en partie, des moyens de communication entre les moyens d'analyse (62, 64) du signal électrique reçu par la seconde électrode 6 et les moyens de transmission par radiofréquence de données, comprenant au moins l'interface 26. Ce dispositif de gestion et de communication 66 communique alors avec l'interface 26 afin de transmettre la valeur mesurée au lecteur 18 correspondant. Ce dispositif de gestion et de communication 66 peut également échanger des données avec la mémoire 30. Il gère également les identifications avec ce lecteur 18 ainsi que les ordres de mesure. Ainsi, ce dispositif de gestion et de communication 66 est également en lien avec le générateur de fréquence 56 et les autres modules de la puce 60, à savoir le module de traitement des signaux numériques 62 et le module de calibration et de comparaison 64. Avec un tel microcontrôleur 22, les mesures de permittivité peuvent ainsi être réalisées au sein d'un dispositif qui peut être assimilé à une étiquette RFID. Un tel microcontrôleur 22 peut être intégré tout aussi bien dans un dispositif de mesure de permittivité passif

(comme illustré par exemple sur la figure 3) que dans un dispositif actif tel celui représenté sur la figure 4.

Les figures 8A, 8B et 8C illustrent une forme de réalisation d'un dispositif de mesure. On remarque sur la figure 8A que le dispositif de mesure se présente par exemple sous la forme d'une pastille cylindrique circulaire stratifiée. On reconnaît sur la figure 8A cinq disques de même diamètre superposés les uns aux autres.

À la base du dispositif de mesure se trouve un premier disque 68 au sein duquel sont intégrés l'anode 4 et la cathode 6. La figure 8C illustre un positionnement possible d'une anode 4 et d'une cathode 6 sous le premier disque 68. Un agencement similaire pour être utilisé pour deux anodes ou deux cathodes. Il est aussi possible de n'avoir qu'une seule électrode. Le dispositif des figures 8A à 8C correspond alors au premier ou au second ensemble décrits précédemment. Chacune des électrodes (anode 4 et cathode 6) présente à la forme d'un peigne, les dents des deux peignes s'entre-enchevêtrant.

Ce premier disque 68 est recouvert d'une couche 70 d'un matériau qui assure à la fois une isolation électrique et thermique. Cette couche 70 permet d'isoler le premier disque 68 d'un second disque 72 qui se présente sous la forme d'une carte de circuit imprimé sur laquelle sont implantés les différents corps électroniques du dispositif de mesure de permittivité par RFID et à la surface duquel est réalisée une antenne 74 en forme de spire. On réalise une liaison électrique de l'antenne 74 ainsi que de l'anode 4 et de la cathode 6 au niveau du second disque 72, ou plus précisément de la carte de circuit imprimé. Pour un tel ensemble, l'antenne 74 correspond à l'antenne reliée à l'anode 4 ou la cathode 6. La figure 8B illustre en vue de dessus le second disque 72 et l'antenne 74. Pour protéger cette dernière et l'ensemble du dispositif de mesure, un surmoulage est réalisé formant ainsi une couche protectrice 76 d'un matériau isolant thermique.

La figure 9 illustre une variante de réalisation d'un dispositif de mesure envisageable. Les différents corps (l'antenne, les corps électroniques et les électrodes) sont disposés sensiblement dans un même plan. Une carte de circuit imprimé 72' porte alors les divers corps électroniques du dispositif de mesure représenté, dont une antenne 74'. L'anode 4 et la cathode 6 sont ici en formes de peignes, les dents d'un peigne étant interposées entre les dents de l'autre peigne. Le dispositif comprend alors une ou deux anodes 4, ou une ou deux cathodes 6, de préférence en forme de peigne.

La figure 10 illustre un procédé de l'art antérieur permettant le contrôle de la polymérisation d'un corps 2 en matière composite. Dans cet exemple, on a

représenté deux capteurs 78 disposés à la surface du corps 2. Chaque capteur 78 est en fait soit simplement une électrode, soit un ensemble de deux électrodes, par exemple deux électrodes similaires à celles illustrées sur les figures 8 et 9. Chaque capteur 78 est relié par fil à un boîtier interface 80. On retrouve par exemple dans ce

5 boîtier des moyens électroniques équivalents aux moyens illustrés sur la figure 7 et correspondant au générateur de fréquence 56, à l'interface 54 et au convertisseur A/D 58. Ce boîtier interface 80 communique avec un ordinateur 82 au sein duquel est réalisée la mesure de permittivité souhaitée. Le résultat de cette mesure est alors transmis à un dispositif de gestion 84 qui contrôle les paramètres tels par exemple la

10 température et la pression, auxquels est soumis le corps 2. On peut ainsi par exemple contrôler la polymérisation du matériau composite utilisé pour réaliser le corps 2.

La figure 11 illustre quant à elle un procédé utilisant un dispositif de mesure 86 disposé ici à la surface d'un corps 2, qui peut être en tout point similaire au corps 2 de la figure 10. Chaque ensemble du dispositif de mesure 86 correspond, comme

15 expliqué plus haut, à une étiquette d'un système RFID. Il peut s'agir ici d'une étiquette passive ou active. Les ensembles du dispositif de mesure 86 sont utilisés pour réaliser une mesure de permittivité à travers tout le corps 2. Chaque ensemble du dispositif de mesure 86 comporte une seule électrode. On peut également avoir deux dispositifs de mesure tels ceux représentés sur les figures 8 et 9, c'est-à-dire comprenant les deux

20 électrodes, et qui réalisent une mesure de conductivité pour connaître localement la permittivité du corps 2. Un lecteur 18 RFID correspondant au dispositif de mesure 86 est utilisé. Ce lecteur 18 transmet sans fil de l'énergie au dispositif de mesure comme illustré par une première flèche 88. L'énergie ainsi transmise permet au dispositif de mesure 86 de réaliser les mesures de permittivité. Les résultats de la mesure sont

25 alors transmis au lecteur 18 comme illustré par la seconde flèche 90. Le lecteur 18 communique avec un ordinateur 82 et tous deux échangent des données par voie filaire ou non. Ici aussi, l'ordinateur 82 envoie les résultats des mesures effectuées à un dispositif de gestion 84 pour surveiller par exemple la polymérisation du matériau du corps 2.

30 Dans cette forme de réalisation, on peut avoir plusieurs types de dispositif de mesure 86 sur le corps 2. Il est possible d'avoir des dispositifs de mesure mesurant une conductivité globale à l'intérieur du corps 2 et/ou des dispositifs de mesure pour une mesure de conductivité locale. On peut bien entendu avoir plus de deux dispositifs de mesure 86 sur un même corps. C'est à cet effet qu'est prévu notamment le module anticollision 44 dans l'interface 26 illustré sur la figure 5.

35

La lecture des valeurs mesurées par les dispositifs de mesure 86 est gérée selon les besoins. Il est possible de réaliser plusieurs mesures, de les mémoriser et de transmettre un paquet de mesures à une fréquence prédéterminée (constante ou variable).

5 En variante de réalisation, la mesure étant effectuée au sein du dispositif de mesure 86, l'ordinateur 82 peut ne former qu'un seul ensemble de gestion avec le dispositif de gestion 84.

10 La figure 12 est une illustration d'une application du procédé illustré schématiquement sur la figure 11. Sur cette figure, on a représenté schématiquement un autoclave 92 utilisé pour la polymérisation du corps 2. On a représenté à l'intérieur de l'autoclave 92 deux antennes 94, qui sont par exemple à l'intérieur de l'autoclave et sont fixées sur la paroi interne de celui-ci. Ces antennes 94 sont reliées par fil au lecteur 18. Ces antennes 94 correspondent à l'antenne L' de la figure 6. Des données collectées par le lecteur 18 sont alors transmises à l'ordinateur 82 qui travaille en
15 liaison avec le dispositif de gestion 84 de l'autoclave 92.

20 La figure 13 illustre une autre application du dispositif dans le domaine aéronautique. On reconnaît sans mal sur la figure 13 une vue partielle d'un aéronef 96. Celui comporte un fuselage 98 porté par une voilure 100 sur laquelle sont fixés, par l'intermédiaire de mâts de liaison 102 des nacelles 104 à l'intérieur desquelles se trouvent à chaque fois un réacteur.

25 On suppose ici que chaque nacelle 104 est réalisée dans un matériau composite, par exemple, un matériau composite à base de fibres de carbone. Des dispositifs de mesures par RFID 86 sont disposés à la surface d'une nacelle 104. Il s'agit alors ici de préférence de dispositifs actifs. Il s'agit là d'un exemple de mode de réalisation, mais bien entendu on a de préférence des dispositifs de mesure 86 sur chacune des nacelles 104 de l'aéronef 96. Seuls deux dispositifs de mesure 86 sont représentés mais un bien plus grand nombre de dispositifs de mesure 86 peuvent être présents sur une nacelle 104.

30 Dans la forme de réalisation choisie ici un lecteur 18 est disposé sur la voilure 100 à proximité du mât de liaison 102 correspondant à la nacelle 104 surveillée. Le lecteur 18 est en liaison avec un transmetteur optoélectronique 106. Ce dernier est en liaison avec plusieurs lecteurs 18. Il reçoit ainsi les mesures réalisées par un grand nombre de dispositifs de mesures 86. Toutes les mesures connectées par le transmetteur optoélectronique 106 sont transférées vers le système avionique de

l'aéronef. Ces données sont alors transférées à un module d'entrée/sortie 108 connu sous l'acronyme anglais CPIOM (pour Core Processor Input Output Module).

Il est alors possible de surveiller l'état de la nacelle 104 à tout moment lors de l'utilisation de l'aéronef. Toutes les options sont envisageables ici pour l'homme du métier. Il peut y avoir un contrôle continu de l'état du matériau constituant la nacelle 104. Cette dernière ne pouvant être réparée qu'au sol, on peut prévoir un contrôle de la nacelle 104 uniquement lorsque l'aéronef 96 est au sol. Il est également possible de prévoir des mesures lorsque l'aéronef 96 est en vol afin de programmer à l'avance déjà une éventuelle intervention au sol sur la nacelle 104. On peut également par exemple prévoir de réaliser des mesures lorsque des conditions d'utilisation extrêmes ont été observées par ailleurs. Étant donné que les capteurs permettant de contrôler l'état du matériau de la nacelle sont présents, il peut être envisagé de réaliser un contrôle à tout moment. Un dispositif tel que décrit précédemment apporte ici une très grande souplesse d'utilisation et permet d'adapter les contrôles à réaliser a priori à tous les cahiers des charges envisageables.

Les figures 14 à 16 illustrent les possibilités de positionnement de l'anode 4 et de la cathode 6 d'un dispositif de mesure par RFID sur un corps 2 en composite multicouche.

Sur la figure 14, l'anode 4 et la cathode 6 s'étendent sur un bord du corps 2, qui se présente sous la forme d'un panneau, sur toute la hauteur de celui-ci. L'anode 4 et la cathode 6 recouvrent ainsi plusieurs plis (ou couches) du composite, voire de préférence l'ensemble des plis du corps 2. On mesure alors ici la permittivité à travers tout le corps 2, d'un bord à un autre.

Dans l'illustration de la figure 15, l'anode 4 et la cathode 6 sont collées sur le composite, qui se présente sous la forme d'un panneau, sur une zone bien précise, à une hauteur h d'une face du corps 2 afin de réaliser une mesure de conductivité (équivalente à une mesure de permittivité) d'une zone bien précise du corps 2. L'anode 4 et la cathode 6 ne recouvrent, chacune, par exemple, qu'un seul pli du composite, ou sont à cheval sur deux plis consécutifs de sorte à couvrir leur interface ce qui permet de détecter une délamination entre ces plis.

Sur la figure 16, le dispositif comprend une anode 4 et deux cathodes 6 correspondantes. L'anode 4 est ici introduite dans une zone saturée en résine, i.e. entre deux plis. On suppose ici que le corps 2 est réalisé dans un matériau composite dans lequel des fibres, par exemple des fibres de carbone, sont noyées dans une résine que l'on a polymérisée. À cette anode 4 correspond l'une ou l'autre des

cathodes 6B et 6C représentées. On peut également avoir une seule anode 4 pour les deux cathodes 6B et 6C. La cathode 6C est disposée perpendiculairement à l'anode 4. Elle est par exemple collée sur la tranche du corps 2. La cathode 6B est quant à elle par exemple fixée sur le corps 2 par accrochage mécanique. La cathode 6B forme ici
5 une pince qui vient assurer un contact électrique avec des fibres du composites utilisés pour réaliser le corps 2.

Un dispositif tel que décrit ci-dessus permet ainsi de détecter une détérioration dans un matériau composite à l'aide de capteurs miniaturisés, intégrables dès la fabrication du matériau. Ces capteurs présentent des électrodes conductrices de
10 l'électricité qui peuvent être disposées à la surface du matériau composite ou au cœur de celui-ci. Les capteurs ainsi intégrés lors de la fabrication du composite permettent de détecter toutes anomalies tant au cours des étapes de fabrication que lors de l'utilisation d'une structure réalisée avec le matériau composite concerné. Il est à préciser ici que les capteurs mis en place lors de la fabrication du matériau composite
15 peuvent être soit des capteurs utilisés pour la détection d'anomalies lors de la fabrication du matériau, soit des capteurs utilisés pour la détection d'anomalies lors de l'utilisation dans la structure correspondante, soit des capteurs pouvant servir à la fois à la détection d'anomalies lors de la fabrication du matériau et lors de l'utilisation de la structure correspondante. On peut ainsi avoir sur une structure des capteurs de l'une,
20 de deux ou de trois des catégories mentionnées.

La combinaison de ces capteurs à un système permettant une transmission de données sans fil et sans contact par exemple un système de type RFID, permet une lecture des données mesurées en continu ou à des intervalles prédéterminés ou en cours d'utilisation de la structure ou sur simple demande ponctuelle. Une très grande
25 souplesse peut être obtenue ici.

Les applications mentionnées plus haut concernent plus particulièrement le domaine aéronautique mais de tels dispositifs de mesure peuvent trouver des applications dans tous les domaines mettant en œuvre des matériaux composites, et plus largement dans tout domaine dans lequel des mesures de conductivité électrique
30 sont réalisées.

Il est ainsi possible de détecter des défauts dans le matériau analysé juste au niveau du capteur, dans la zone qui est en contact avec celui-ci, mais elle peut également s'appliquer pour la détection de défaut sur un volume de matériau plus important, disposé entre deux électrodes éloignées l'une de l'autre. En cours de
35 fabrication, il est possible avec de tels capteurs de détecter si la polymérisation de la

résine utilisée se réalise de manière optimale (ou selon des conditions acceptables). Lors de l'utilisation d'une structure réalisée avec ce matériau, il est ensuite possible de détecter un délaminage au cœur du matériau et/ou une infiltration de liquide et/ou une cassure.

5 Il est en outre possible de réaliser une surveillance de la structure de matériaux composites comme encore jamais réalisée dans l'état de l'art antérieur. Ce contrôle au sein même de la matière peut être réalisé avec une très grande souplesse d'utilisation. Une fois les capteurs mis en place, la procédure de surveillance peut être adaptée à souhait et varier tout au long de la durée de vie de la structure. On remarque
10 également que le dispositif par RFID décrit ici permet de diminuer sensiblement les coûts liés au contrôle de pièces de structure en matières composites. Les dispositifs peuvent être réalisés à des prix de revient tout à fait compétitif et utilisent des technologies éprouvées. Une grande fiabilité de mesure peut donc être obtenue.

Bien entendu, la réalisation d'un tel dispositif ne se limite pas aux formes
15 de réalisation décrites ci-dessus à titre d'exemples non limitatifs et aux variantes de réalisation évoquées. D'autres applications peuvent également être envisagées.

La figure 17 représente un dispositif de détection de défauts selon un premier aspect.

20 On considère ici à titre d'exemple que les premières électrodes correspondent à des anodes, et les secondes électrodes correspondent à des cathodes. Cet exemple n'est donné que par mesure de concision et un signal peut aussi bien être envoyé de la cathode vers l'anode de chaque couple.

Le dispositif comprend un boîtier 1 et une nappe d'électrodes 3 situés de
25 part et d'autre du corps 2 de sorte à réaliser des mesures transverses.

Le boîtier 1 et la nappe 3 sont reliés, par câble ou par RFID, à une interface diélectrique 5.

Selon le présent exemple de réalisation, l'interface 5 communique avec un ordinateur 7, par exemple par un câble, et l'ordinateur est relié à un dispositif de
30 visualisation 9, tel qu'un écran.

L'interface 5 comprend notamment des moyens d'émission d'un champ électrique permettant de créer un champ électrique à partir des anodes, des moyens d'analyse d'un signal électrique reçu par les cathodes, et des moyens d'activation simultanée d'au moins une première anode (4) et une première cathode (6) puis d'une
35 deuxième anode (4') et d'une deuxième cathode (6').

Ainsi, la première anode (4) et la première cathode (6) forment un premier couple avec une première ligne de champ, et la deuxième anode (4') et la deuxième cathode (6') forment un deuxième couple avec une deuxième ligne de champ.

5 Comme illustré sur la figure 18, le boîtier 1 présente une surface 11 sur laquelle sont présentes une multitude de cathodes. On désigne par M le nombre de cathodes.

Dans un tel mode de réalisation, la nappe 3 comprend une multitude d'anodes. On désigne par N le nombre d'anodes.

10 Le dispositif comprend en outre des moyens de connexion pour relier individuellement les N anodes et les M cathodes à l'interface diélectrique 5.

La figure 19 permet d'illustrer schématiquement la nappe 3 comprenant les N anodes reliées, chacune individuellement, à l'interface 5 par un câble 51 en guise de moyen de connexion. Un système par RFID tel que décrit précédemment peut bien entendu être utilisé.

15 Ainsi, chaque électrode est identifiée par une référence numérique de sorte à pouvoir être reconnue par un microcontrôleur.

Dans l'exemple de réalisation de la figure 19, les N anodes ont une forme de barrette, et sont réparties parallèlement les unes aux autres en rangs 31. Les anodes ont de préférence toutes la même taille, les anodes plus longues de la figure 20 19 ne permettent que d'illustrer les moyens de connexion.

Les couples d'électrodes sont définis de sorte que la ligne de champ du premier couple croise la ligne de champ d'un deuxième couple.

25 L'intersection des lignes de champ définit un point de mesure de coordonnées (i, j) au sein du corps à analyser. Les coordonnées de ce point de mesure dépendent notamment des paramètres du champ électrique émis (intensité, fréquence, par exemple). Ainsi, pour d'autres paramètres, l'intersection des lignes de champ définit un autre point de mesure de coordonnées (x, y) par exemple, à une autre profondeur dans le corps analysé.

30 L'activation successive de différents couples permet ainsi de sonder un volume du corps.

Les figures 20 et 21 illustrent un autre mode de réalisation du dispositif selon lequel la surface du boîtier comprend en outre les N anodes.

Les électrodes peuvent être disposées de toutes les manières tant qu'une première ligne de champ croise une deuxième ligne de champ.

De préférence, la surface 11 du boîtier 1 présente une densité d'électrodes d'au moins une électrode par 0.5 mm².

Un mode préférentiel de réalisation illustré figure 22 représente schématiquement les anodes et cathodes disposées en cercle, avec les électrodes d'un même couple sur un même cercle. La figure 22 illustre un mode de réalisation simplifié et un tel boîtier 1 comprend en réalité, de préférence plusieurs cercles concentriques de sorte que toute la surface 11 est recouverte d'électrodes.

Afin de simplifier la réalisation du dispositif, les anodes et les cathodes ont une même forme, et ont une forme de pastille.

Lorsque les électrodes sont disposées en cercle à la surface 11 du boîtier 1, il est aussi possible d'avoir un balayage en rotation du boîtier 1, et les différents diamètres des cercles permettent une analyse à différentes profondeurs indépendamment des paramètres du champ électrique.

Les électrodes sont par exemple disposées de manière homogène sur un cercle, par exemple en intercalant anodes et cathodes, et de préférence, une anode est diamétralement opposée à une cathode, voire les électrodes d'un même couple sont diamétralement opposées.

Lorsque les électrodes sont disposées en cercle concentriques, elles ont de préférence la même forme, et ici une forme de pastille.

Et de préférence, les électrodes d'un même cercle ont la même taille.

Selon un exemple de réalisation, la taille des électrodes peut varier d'un cercle à l'autre. Par exemple, plus le diamètre du cercle est petit, plus les électrodes de ce cercle sont petites.

Pour sonder un corps grâce à un dispositif tel qu'illustré, un procédé consiste d'une part à positionner le boîtier 1 sur une première surface du corps 2, puis, si le dispositif permet de réaliser des mesures transverses, positionner la nappe 3 contre une seconde surface du corps 2, ladite seconde surface étant parallèle à la première surface, les première et seconde surfaces étant situées de part et d'autre du corps 2. Puis le procédé comprend un premier ensemble d'étapes consistant à :

• Activer successivement les couples d'électrodes via les moyens d'activation ;

Pour chaque couple activé :

• Emettre, via les moyens d'émission, un signal électrique vers la cathode d'un couple activé à partir de l'anode du couple activé.

- Réceptionner le signal électrique reçu à la cathode du couple activé et transmettre le signal électrique reçu à l'interface diélectrique via les moyens de connexion ;
- Analyser, via les moyens d'analyse du signal électrique, le signal électrique transmis à l'interface diélectrique ;
- Comparer le signal électrique transmis à un signal étalon de sorte à détecter un défaut dans le corps ;

Pour l'ensemble des couples activés :

- Enregistrer l'ensemble des signaux électriques reçus aux cathodes des couples d'électrodes successivement activés et analyser, via les moyens d'analyse du signal électrique, les signaux électriques enregistrés de sorte à localiser un défaut dans le corps.

L'activation successive des différents couples se fait très rapidement, de sorte qu'une image du volume analysé, générée par des moyens de reconstruction 3D, peut être affichée sur un écran de visualisation 9 également dans un temps bref, de l'ordre de quelques secondes.

Les moyens d'analyse analysent les signaux et les corrèlent entre eux de sorte à connaître la nature du milieu en tout point de mesure.

Le champ électrique appliqué aux différents couples permet ainsi de cartographier la structure interne du corps, selon trois directions (en profondeur et selon deux directions latérales). Des défauts peuvent ainsi être localisés et identifiés.

La reconstruction géométrique par les moyens de reconstruction 3D permet ensuite de visualiser la structure interne du corps 2 en trois dimensions.

Un balayage de la surface du corps 2 par le boîtier permet enfin de sonder l'intégralité de la structure interne du corps 2.

Un tel dispositif permet de sonder tout type de milieu, que ce soit un panneau en composite multicouche ou un corps humain ou animal, de manière non invasive, et de détecter, localiser et identifier des défauts. En outre, un tel dispositif présente un encombrement tel qu'un aménagement particulier est évitable, et il peut être également transporté facilement.

Par exemple, en raccordant l'interface à un ordinateur, il est possible de sonder une plaque en composite directement sur un aéronef, sans requérir d'intervention mécanique, comme par exemple démonter certains éléments.

REVENDEICATIONS

- 5 1. Dispositif de détection et de localisation de défauts dans un corps, ledit
dispositif comprenant une pluralité de couples d'électrodes , chaque couple
comprenant une première et une seconde électrode de polarités opposées,
ledit dispositif étant caractérisé en ce qu'il comprend des moyens
d'activation configurés pour activer successivement les couples
10 d'électrodes, dits couples activés, et des moyens d'émission adaptés à
envoyer un signal électrique de la première vers la seconde électrode de
chaque couple activé formant ainsi une ligne de champ entre les électrodes
du couple activé, et des moyens d'analyse du signal électrique reçu par la
seconde électrode du couple activé, le dispositif comprend un boîtier (1)
15 ayant une surface (11) sur laquelle sont agencées les unes de la première
ou de la seconde électrode de la pluralité de couples, et des moyens de
connexion aptes à relier individuellement la première et la seconde
électrode de chacun des couples à une interface diélectrique (5), ladite
interface diélectrique (5) comprend les moyens d'analyse du signal
20 électrique ainsi que les moyens d'activation, et en ce qu'au moins deux
couples d'électrodes sont agencés de telle sorte que la ligne de champ
formée entre les électrodes d'un premier couple activé croise la ligne de
champ formée entre les électrodes d'un second couple activé.
- 25 2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que les unes de la
première ou de la seconde électrode de la pluralité de couples d'électrodes
sont agencées sur la surface (11) plane du boîtier (1) avec une densité
d'électrodes d'au moins une électrode par 0.5 mm².
- 30 3. Dispositif selon la revendication 2, caractérisé en ce que les autres de la
première ou de la seconde électrode de la pluralité de couples d'électrodes
sont réparties sur une nappe (3).

4. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que les électrodes de la pluralité de couples d'électrodes sont toutes agencées sur la surface (11) du boîtier (1).
5. Dispositif selon la revendication 4, caractérisé en ce que les électrodes sont agencées sur la surface (11) du boîtier (1) avec une densité d'électrodes d'au moins une électrode par 0.5 mm².
6. Procédé de détection et de localisation de défaut dans un corps (2) mettant en œuvre un dispositif selon l'une quelconque des revendications 4 ou 5, le boîtier (1) étant positionné sur une surface du corps (2), le procédé étant caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes :
- Activer successivement les couples d'électrodes via les moyens d'activation ;
Pour chaque couple activé :
 - Emettre, via les moyens d'émission, un signal électrique vers la seconde électrode d'un couple activé à partir de la première électrode du couple activé.
 - Réceptionner le signal électrique reçu à la seconde électrode du couple activé et transmettre le signal électrique reçu à l'interface diélectrique (5) via les moyens de connexion ;
 - Analyser, via les moyens d'analyse du signal électrique, le signal électrique transmis à l'interface diélectrique (5) ;
 - Comparer le signal électrique transmis à un signal étalon de sorte à détecter un défaut dans le corps (2) ;
Pour l'ensemble des couples activés :
 - Enregistrer l'ensemble des signaux électriques reçus aux secondes électrodes des couples d'électrodes successivement activés et analyser, via les moyens d'analyse du signal électrique, les signaux électriques enregistrés de sorte à localiser un défaut dans le corps (2).
7. Procédé de détection et de localisation de défaut dans un corps (2) mettant en œuvre un dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, le

boitier (1) étant positionné sur une première surface du corps (2) et une nappe (3) étant positionnée sur une seconde surface du corps (2), ladite seconde surface étant parallèle à la première surface, les première et seconde surfaces étant situées de part et d'autre du corps (2), le procédé étant caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes :

5

- Activer successivement les couples d'électrodes via les moyens d'activation ;

 Pour chaque couple activé :

10

- Emettre, via les moyens d'émission, un signal électrique vers la seconde électrode d'un couple activé à partir de la première électrode du couple activé.
- Réceptionner le signal électrique reçu à la seconde électrode du couple activé et transmettre le signal électrique reçu à l'interface diélectrique (5) via les moyens de connexion ;
- Analyser, via les moyens d'analyse du signal électrique, le signal électrique transmis à l'interface diélectrique (5) ;
- Comparer le signal électrique transmis à un signal étalon de sorte à détecter un défaut dans le corps (2) ;

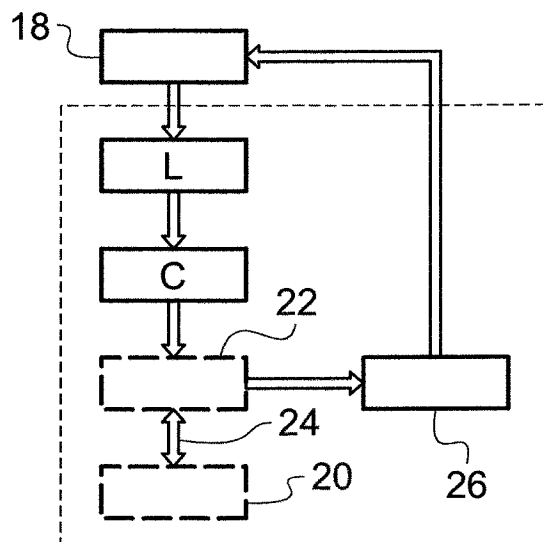
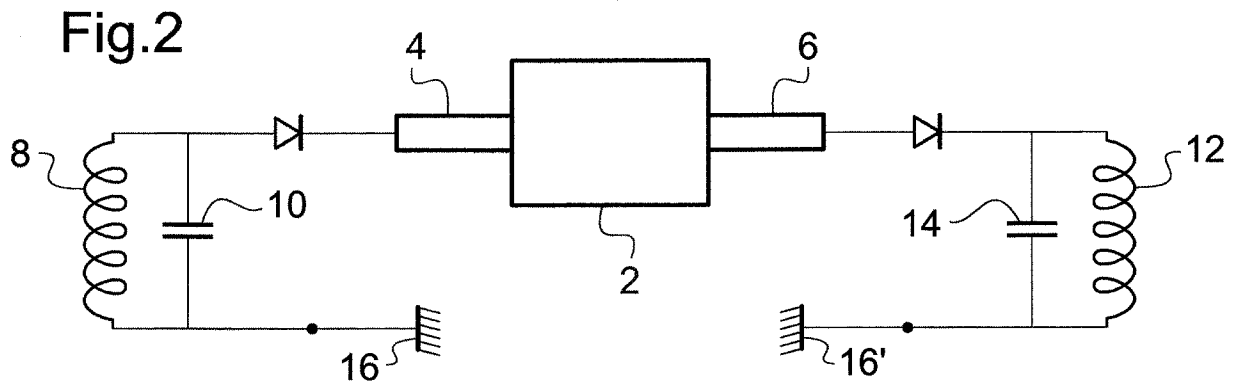
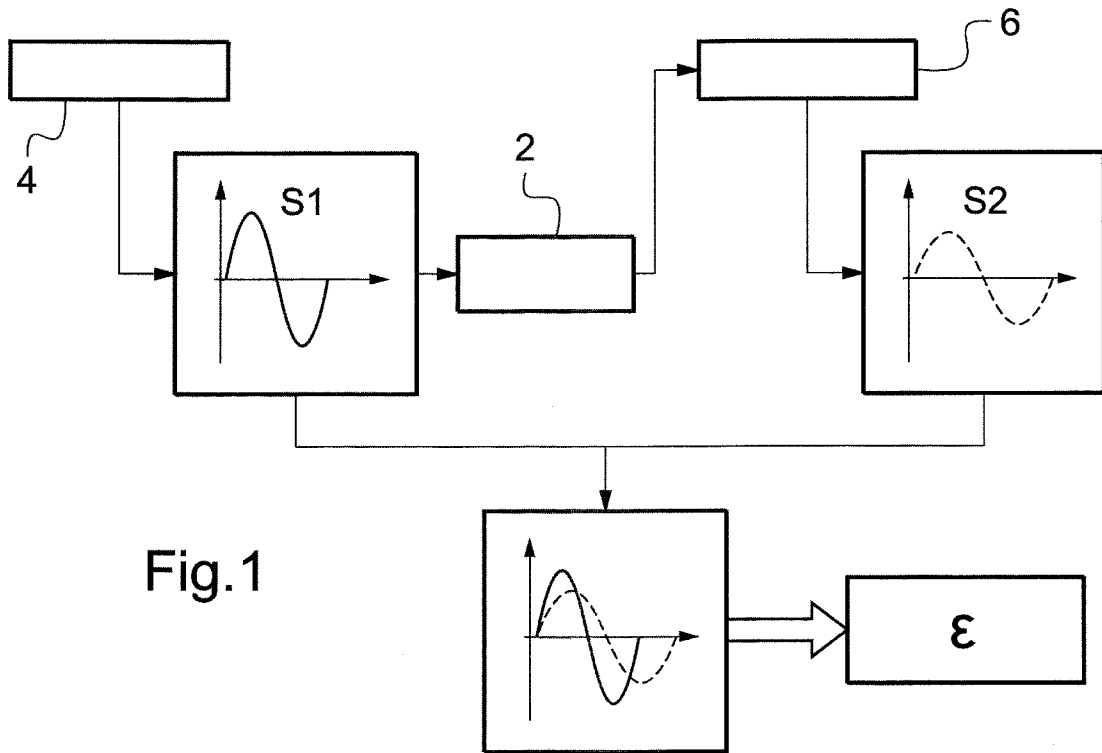
15

 Pour l'ensemble des couples activés :

20

- Enregistrer l'ensemble des signaux électriques reçus aux secondes électrodes des couples d'électrodes successivement activés et analyser, via les moyens d'analyse du signal électrique, les signaux électriques enregistrés de sorte à localiser un défaut dans le corps (2).

25



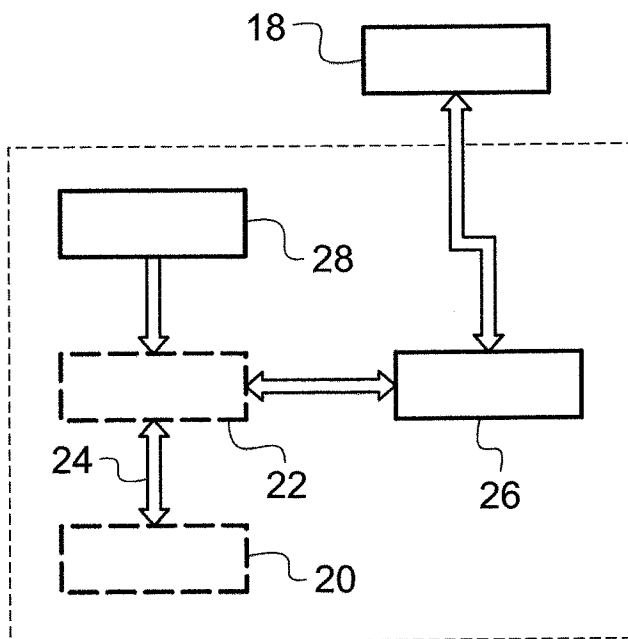


Fig.4

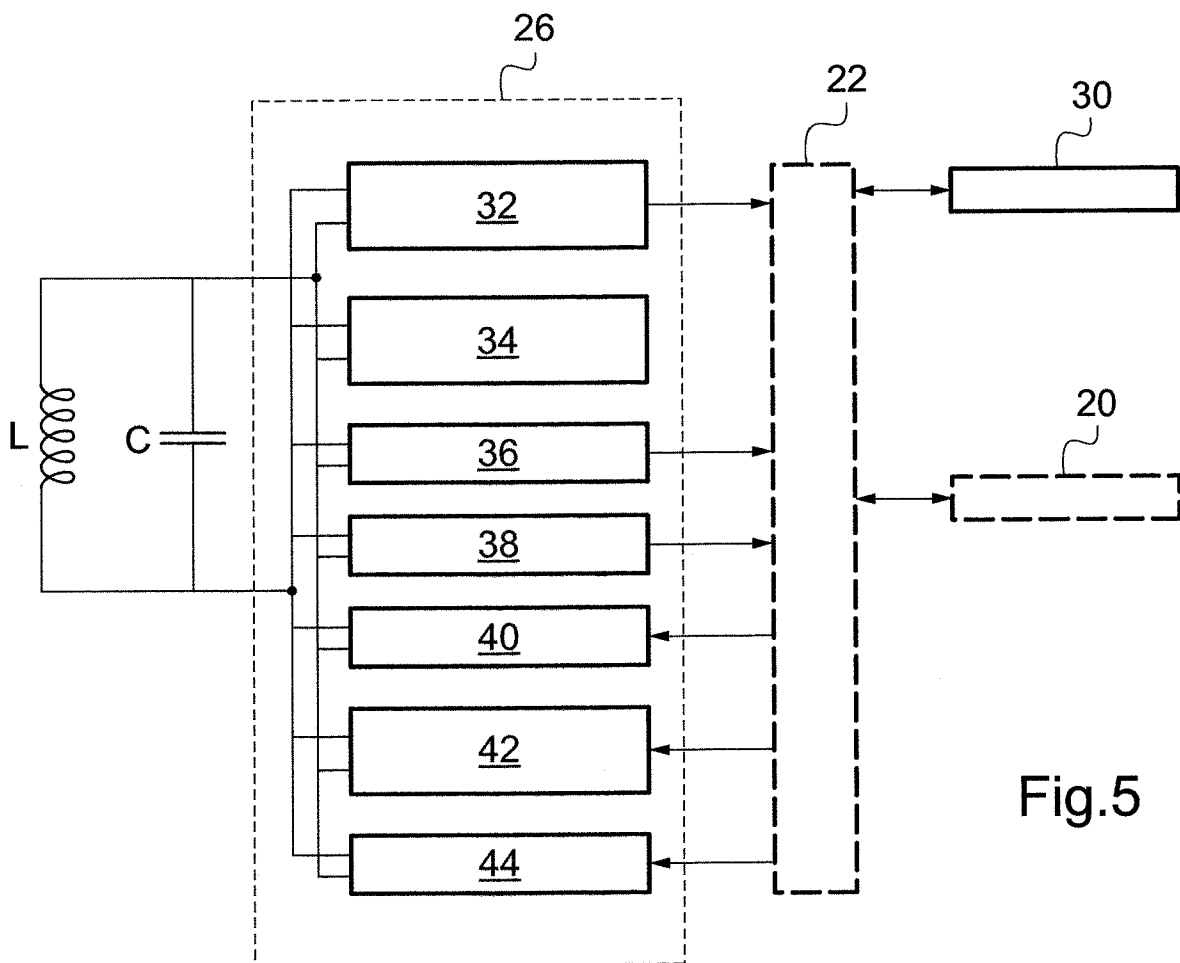
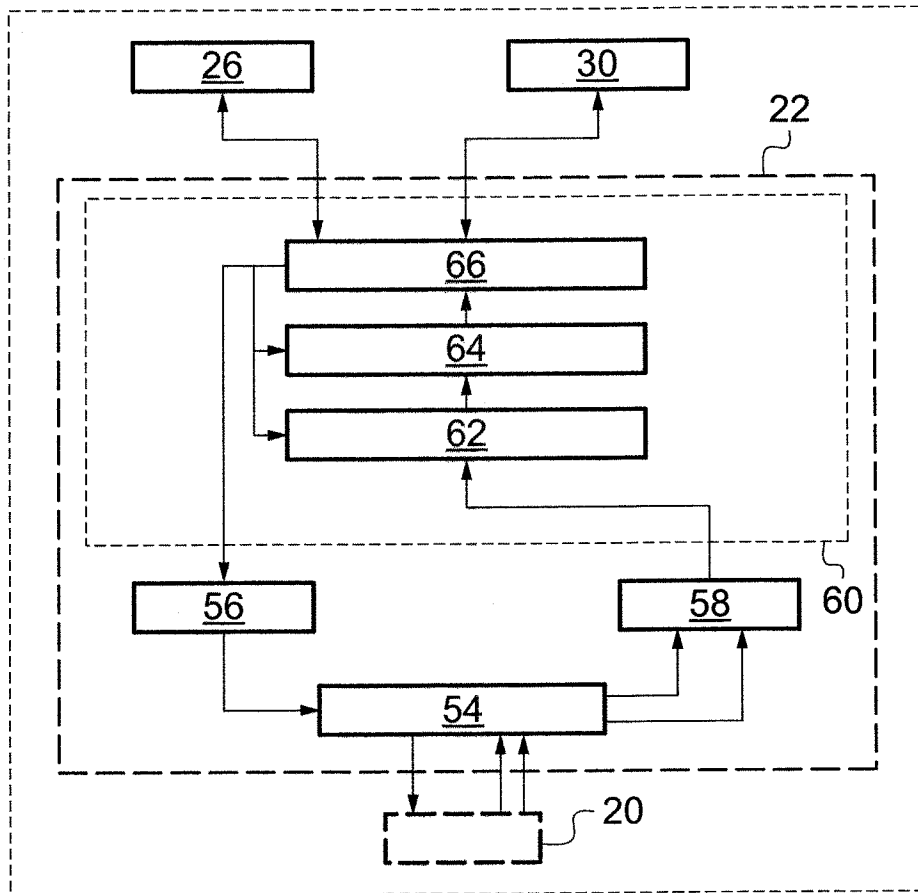
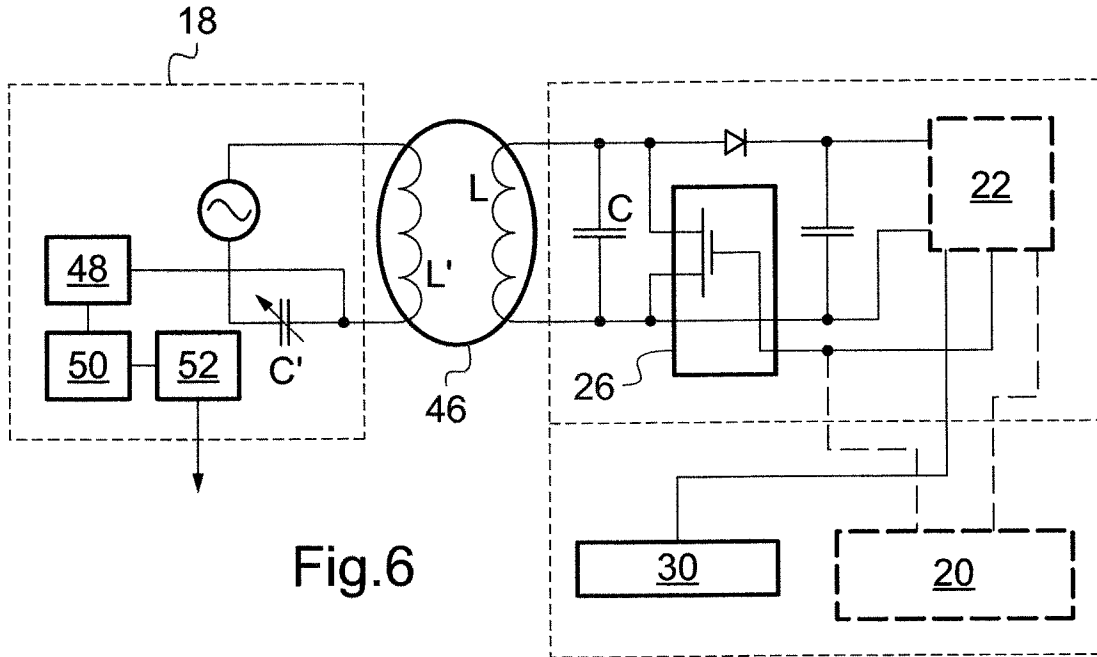


Fig.5



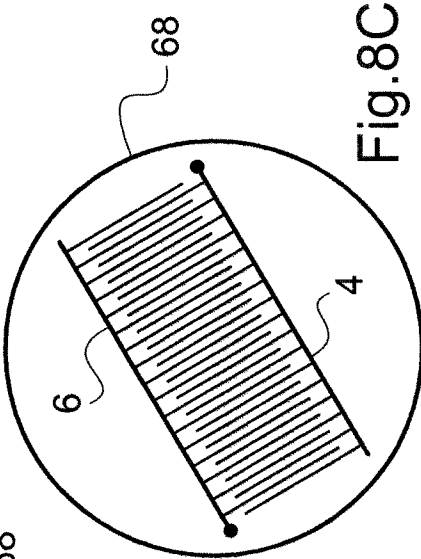
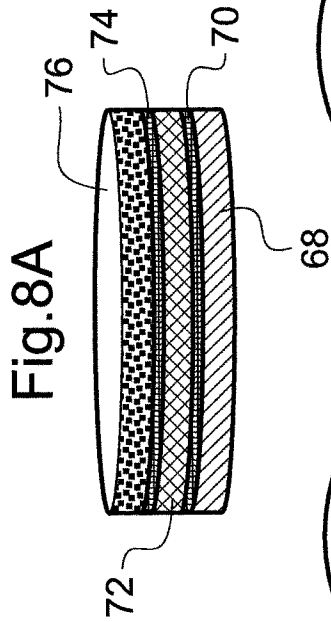


Fig. 8C

Fig. 8B

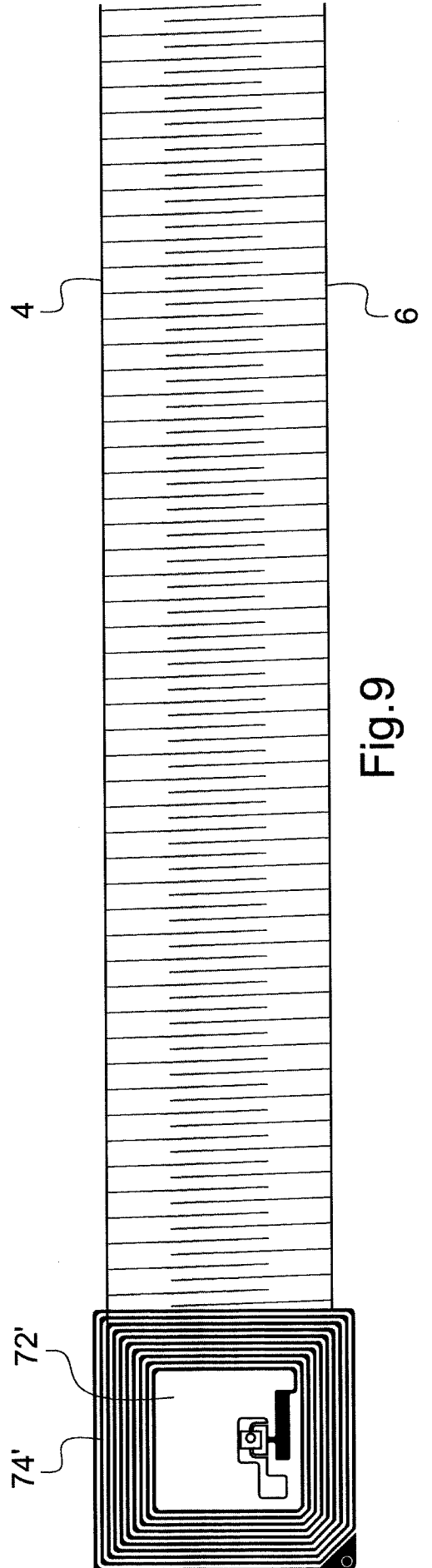


Fig. 9

5/9

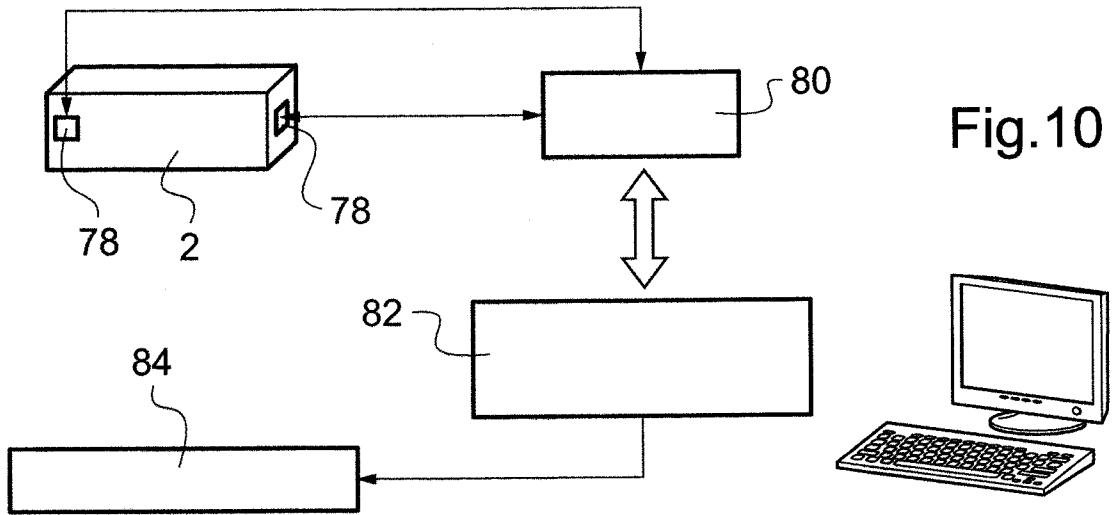


Fig. 10

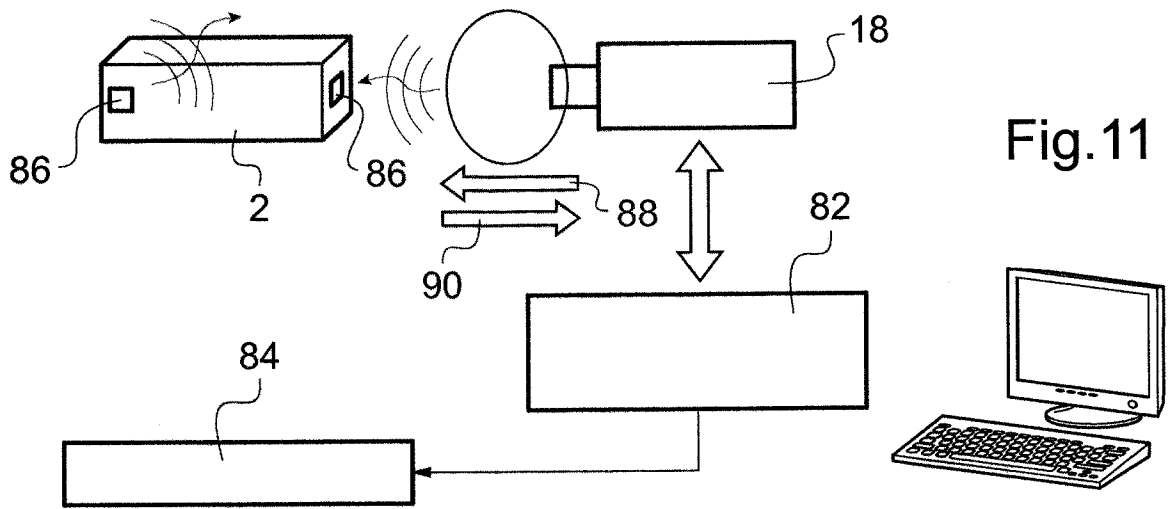


Fig. 11

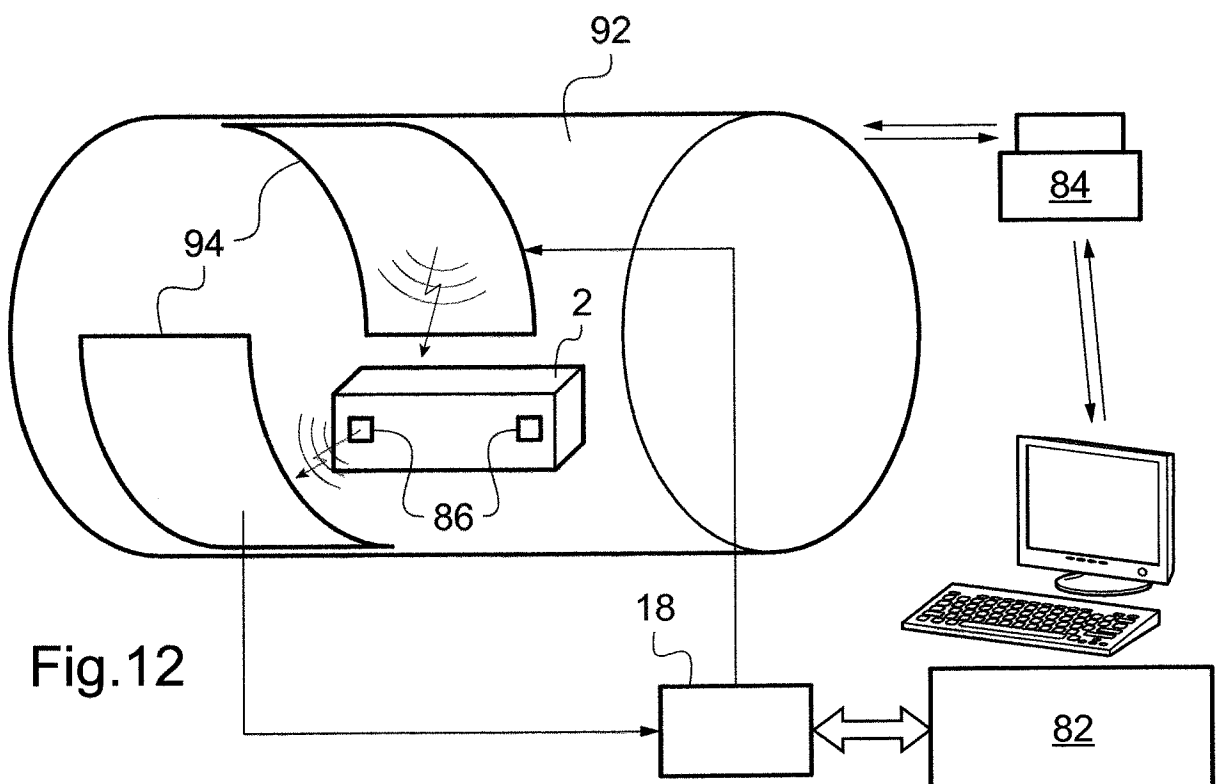


Fig. 12

Fig.13

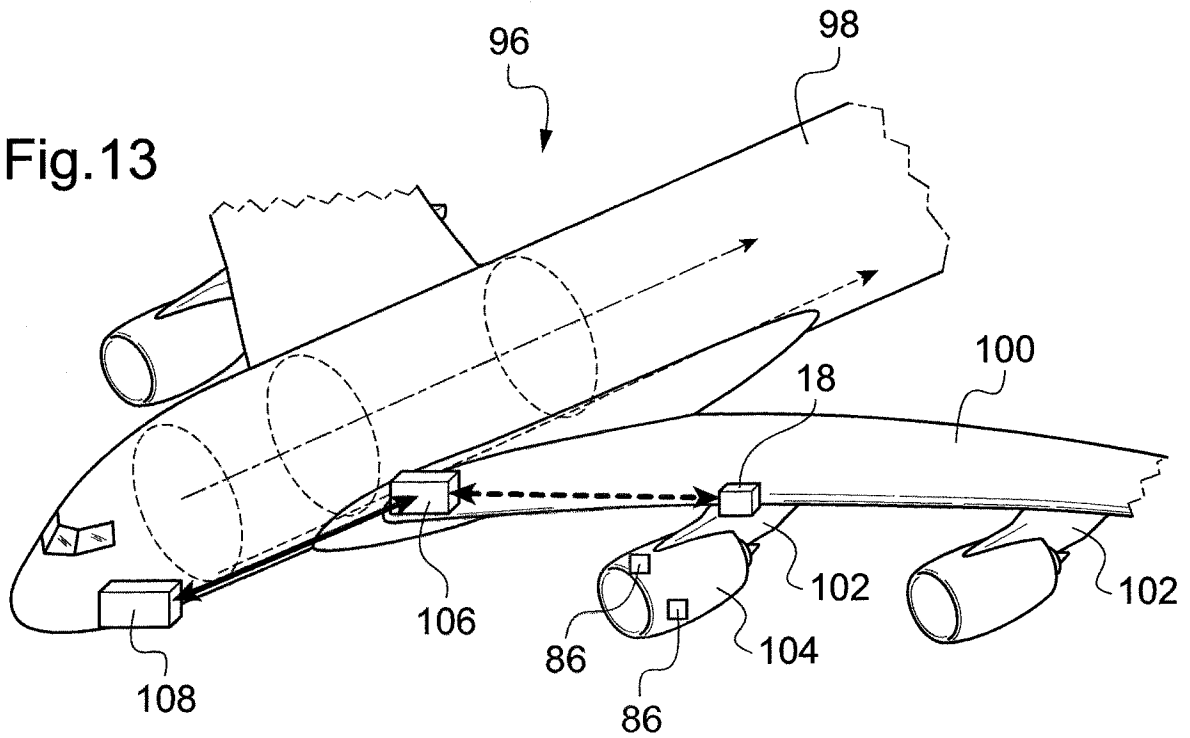


Fig.14

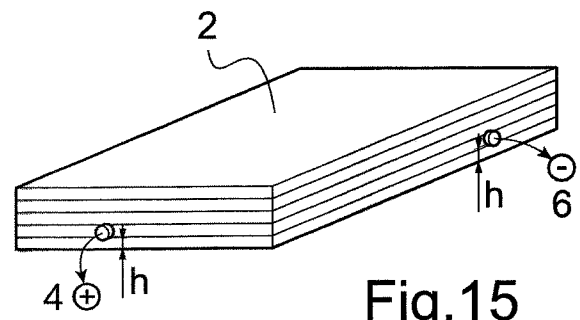
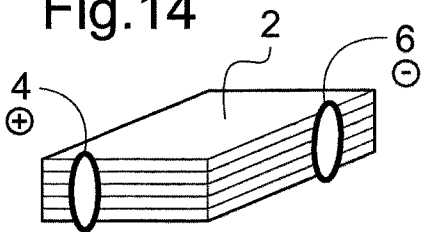


Fig.15

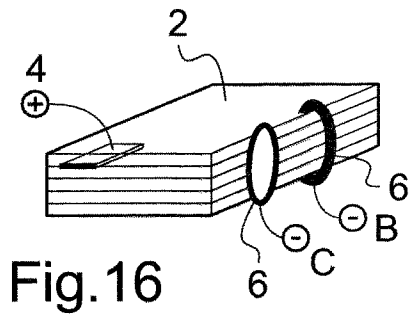


Fig.16

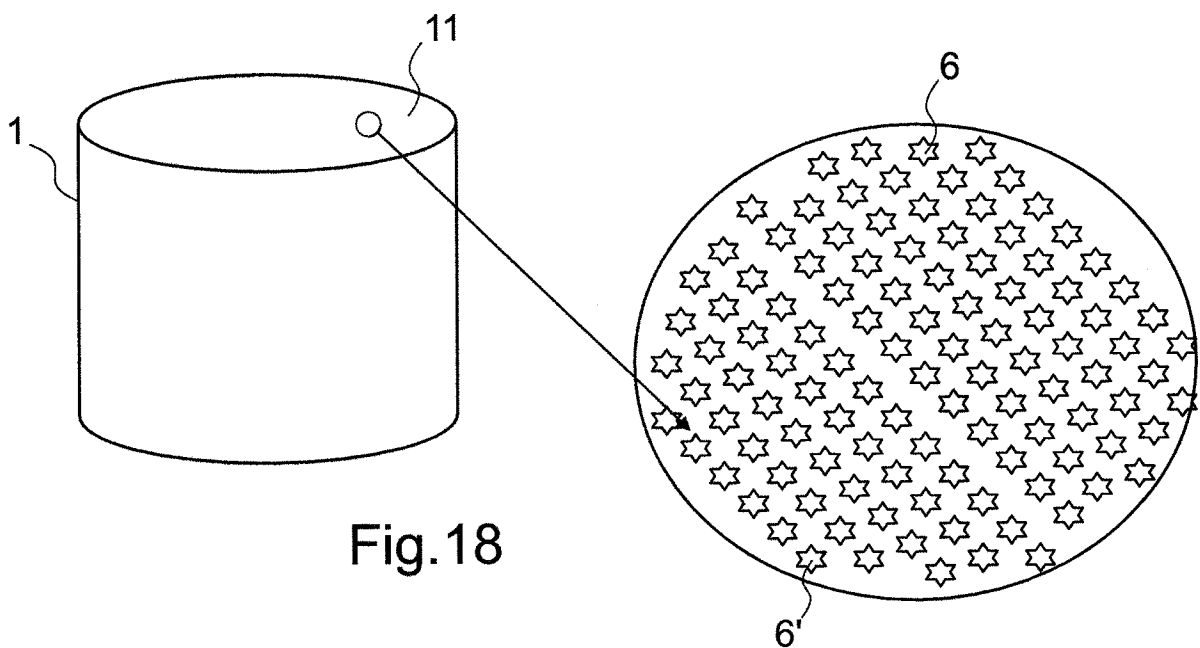
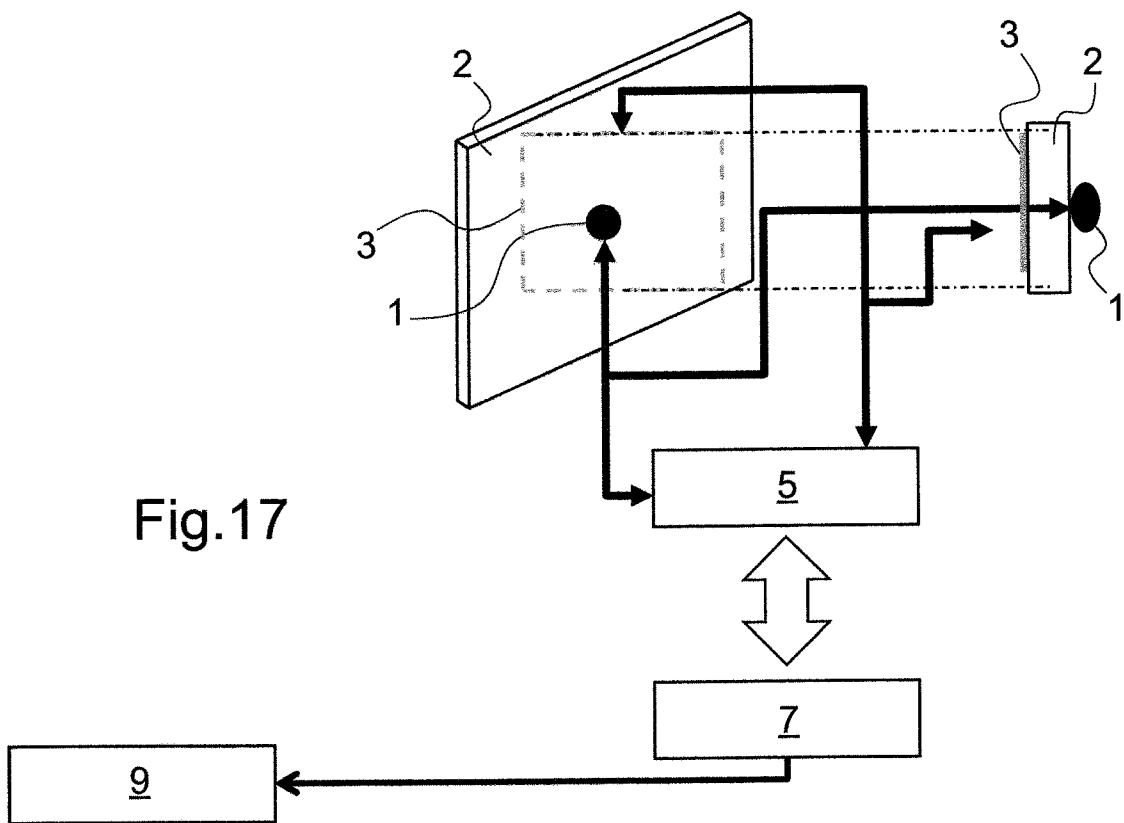


Fig.19

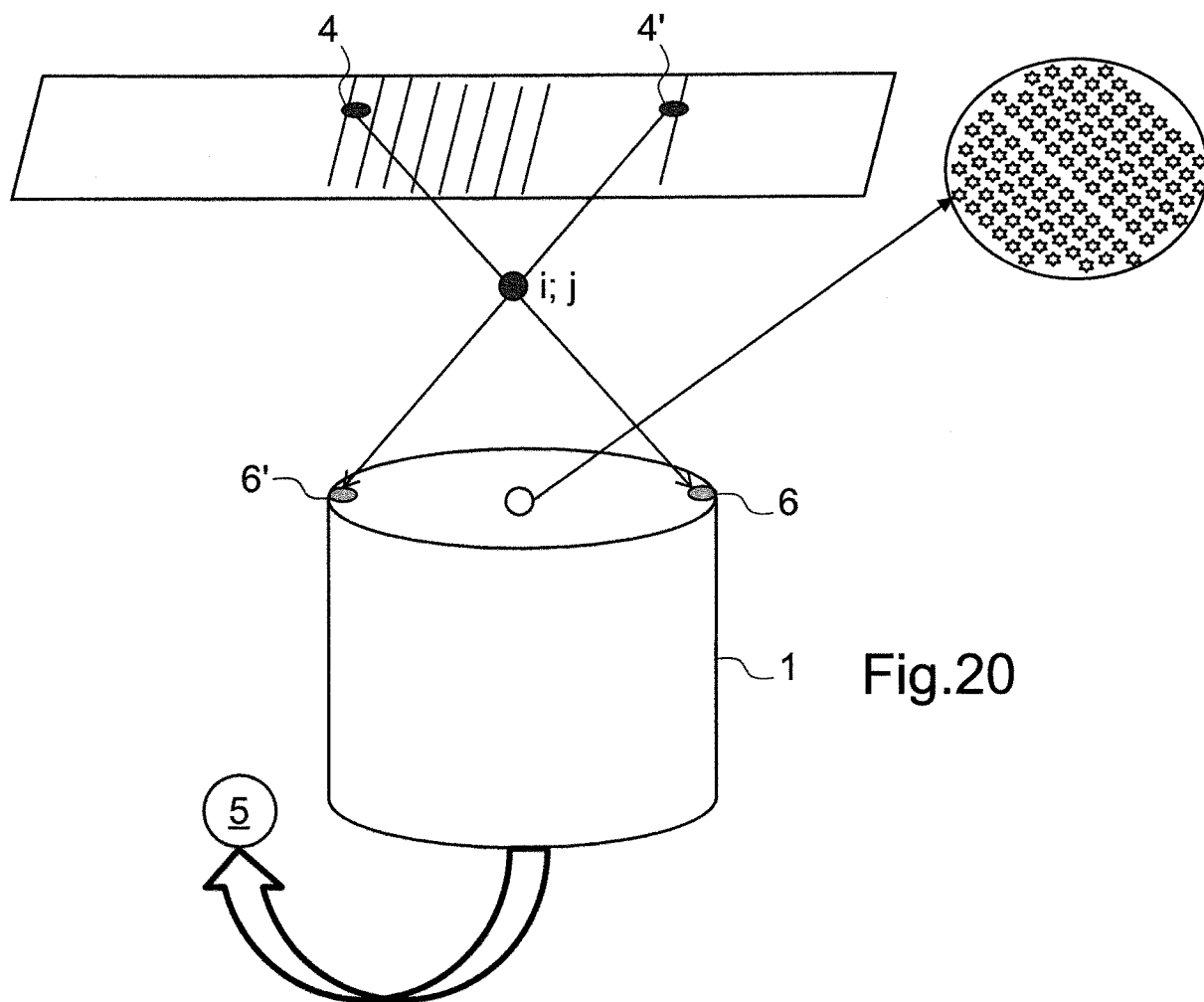
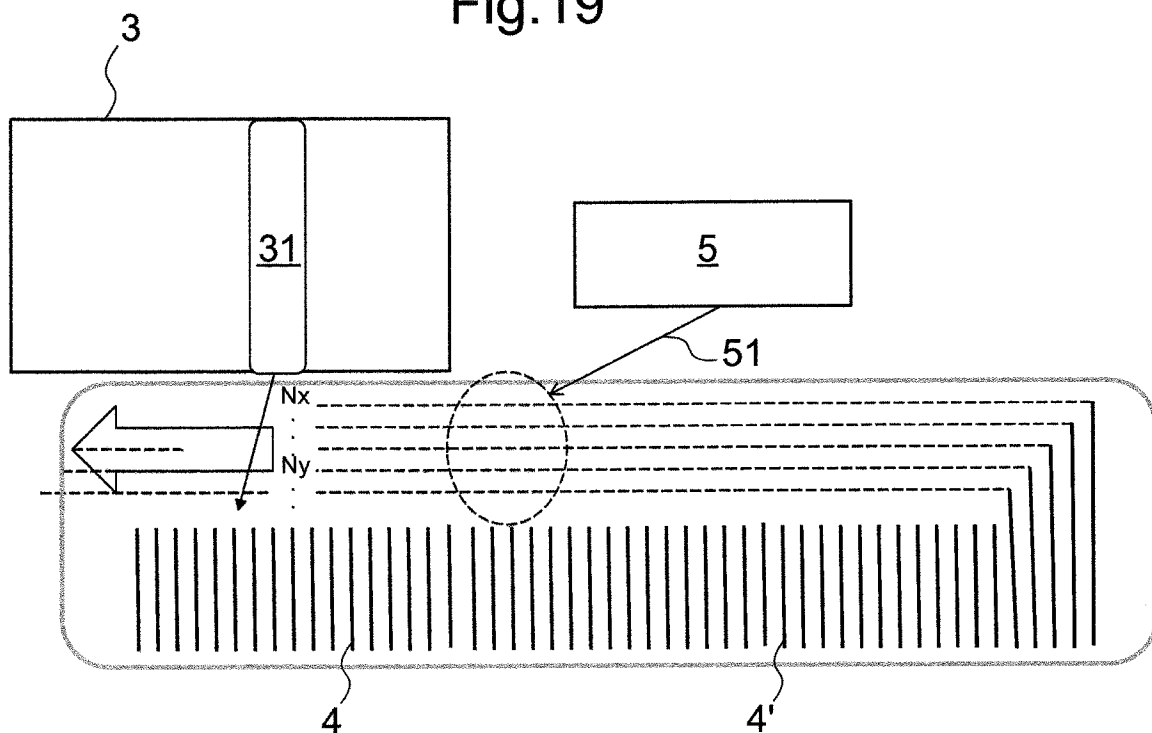


Fig.20

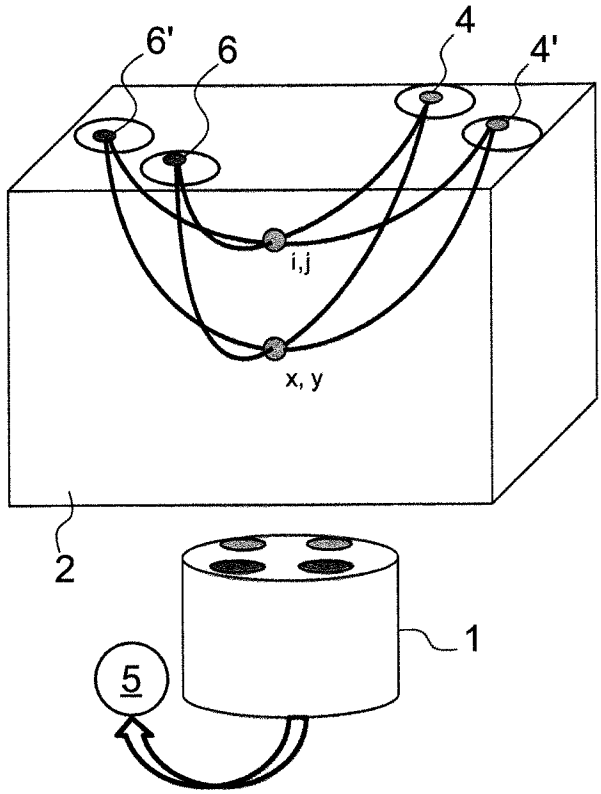


Fig.21

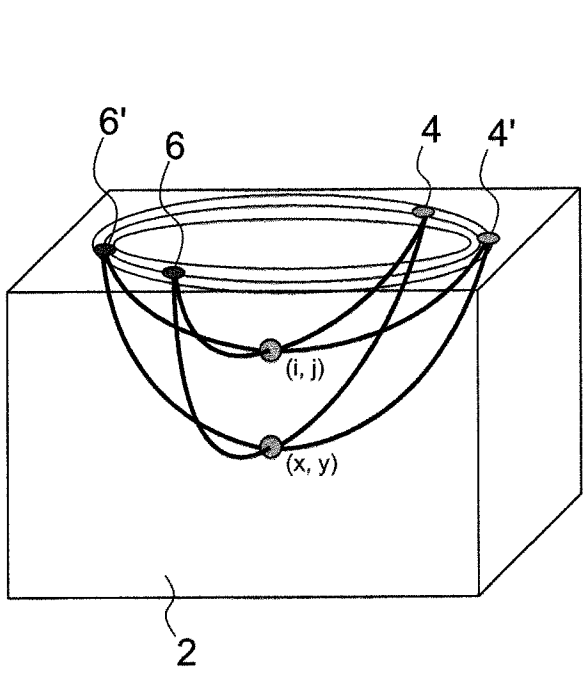
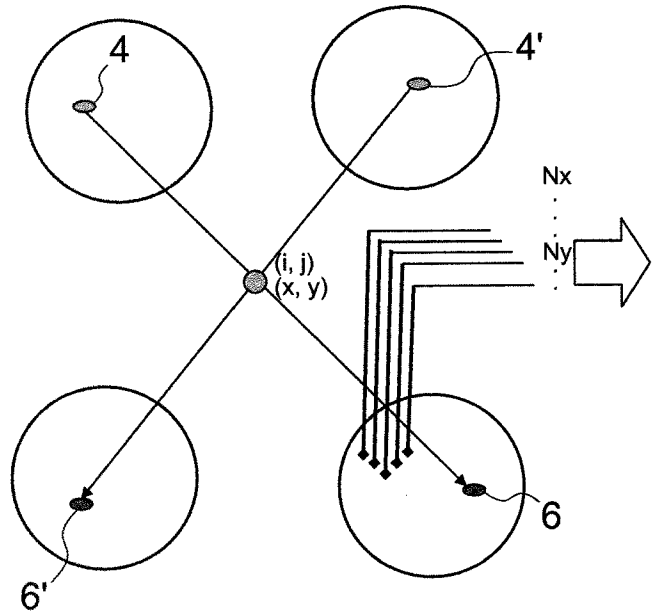
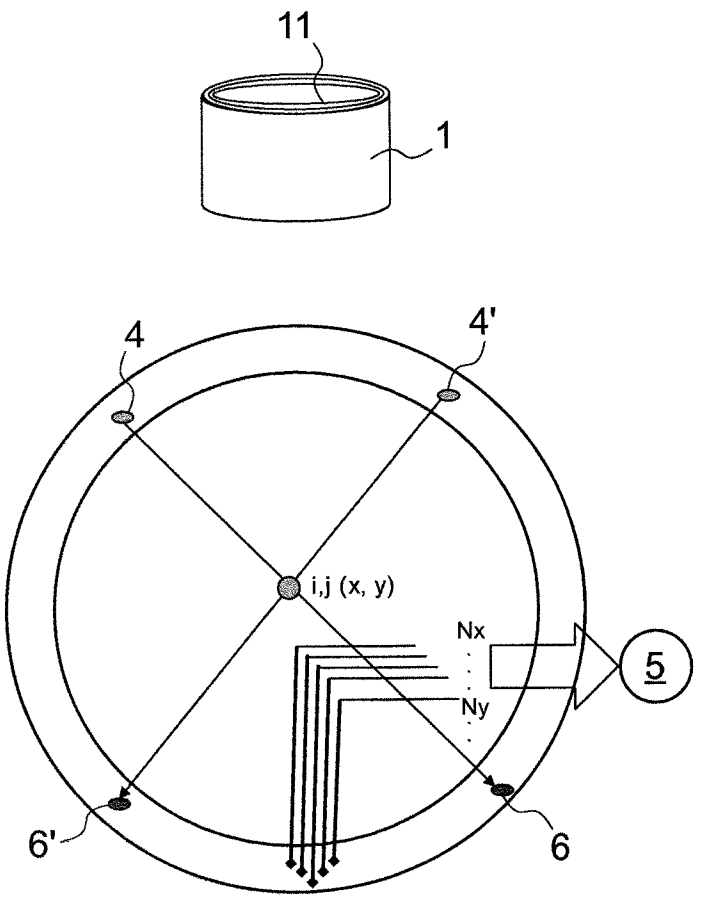


Fig.22



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/FR2012/052210

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G01N27/24 G01N27/22
ADD.
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G01N
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 2008/011716 A1 (TASC LTD [CA]; WEXLER ALVIN [CA]; O'CONNOR PATRICK ADRIAN [CA]; MURUGA) 31 January 2008 (2008-01-31) pages 10,12,18; figures 1-3 -----	1-7
X	EP 2 343 539 A1 (GEN ELECTRIC [US]) 13 July 2011 (2011-07-13) paragraphs [0007], [0023], [0028]; figures 4,6-8 -----	1-7
A	DE 198 39 395 A1 (VENZMER HELMUT [DE]) 27 April 2000 (2000-04-27) abstract; figure 1a -----	1-7

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search 9 November 2012	Date of mailing of the international search report 15/11/2012
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Steinmetz, Johannes

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/FR2012/052210

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 2008011716	A1	31-01-2008	CA 2693315 A1
			CA 2697907 A1
			EP 2052243 A1
			US 2010290675 A1
			WO 2008011716 A1

EP 2343539	A1	13-07-2011	CN 102183549 A
			EP 2343539 A1
			JP 2011141275 A
			US 2011163770 A1

DE 19839395	A1	27-04-2000	NONE

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR2012/052210

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. G01N27/24 G01N27/22 ADD.		
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE		
Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) G01N		
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche		
Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	WO 2008/011716 A1 (TASC LTD [CA]; WEXLER ALVIN [CA]; O'CONNOR PATRICK ADRIAN [CA]; MURUGA) 31 janvier 2008 (2008-01-31) pages 10,12,18; figures 1-3 -----	1-7
X	EP 2 343 539 A1 (GEN ELECTRIC [US]) 13 juillet 2011 (2011-07-13) alinéas [0007], [0023], [0028]; figures 4,6-8 -----	1-7
A	DE 198 39 395 A1 (VENZMER HELMUT [DE]) 27 avril 2000 (2000-04-27) abrégé; figure 1a -----	1-7
<input type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents <input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe		
* Catégories spéciales de documents cités:		
"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée) "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée	"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier "&" document qui fait partie de la même famille de brevets	
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée <p style="text-align: center;">9 novembre 2012</p>		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale <p style="text-align: center;">15/11/2012</p>
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Fonctionnaire autorisé <p style="text-align: center;">Steinmetz, Johannes</p>

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/FR2012/052210

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)			Date de publication
WO 2008011716	A1	31-01-2008	CA	2693315	A1	31-01-2008
			CA	2697907	A1	31-01-2008
			EP	2052243	A1	29-04-2009
			US	2010290675	A1	18-11-2010
			WO	2008011716	A1	31-01-2008

EP 2343539	A1	13-07-2011	CN	102183549	A	14-09-2011
			EP	2343539	A1	13-07-2011
			JP	2011141275	A	21-07-2011
			US	2011163770	A1	07-07-2011

DE 19839395	A1	27-04-2000	AUCUN			
