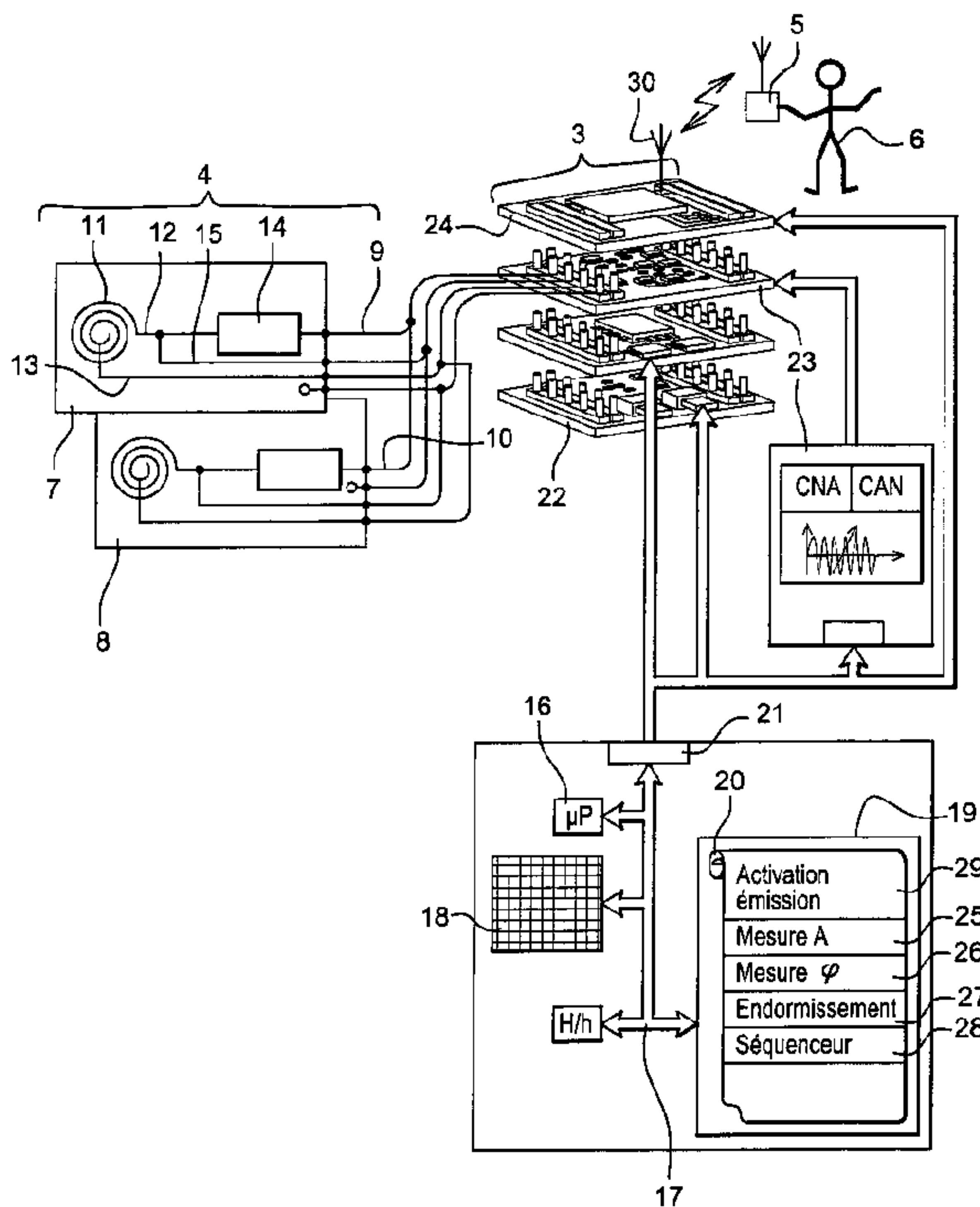




(86) **Date de dépôt PCT/PCT Filing Date:** 2009/03/18
 (87) **Date publication PCT/PCT Publication Date:** 2009/09/24
 (45) **Date de délivrance/Issue Date:** 2016/08/30
 (85) **Entrée phase nationale/National Entry:** 2010/07/08
 (86) **N° demande PCT/PCT Application No.:** EP 2009/002005
 (87) **N° publication PCT/PCT Publication No.:** 2009/115315
 (30) **Priorité/Priority:** 2008/03/20 (FR0851819)

(51) **Cl.Int./Int.Cl. G01N 27/90** (2006.01)
 (72) **Inventeurs/Inventors:**
 MOREAU, KATELL, FR;
 ROUET, VINCENT, FR;
 ROLET, SEBASTIEN, FR
 (73) **Propriétaire/Owner:**
 EUROPEAN AERONAUTIC DEFENCE AND SPACE
 COMPANY EADS FRANCE, FR
 (74) **Agent:** BCF LLP

(54) **Titre : DISPOSITIF DE SURVEILLANCE DE LA STRUCTURE D'UN VEHICULE**
 (54) **Title: DEVICE FOR MONITORING THE STRUCTURE OF A VEHICLE**



(57) **Abrégé/Abstract:**

Dispositif de surveillance de la structure d'un véhicule comportant un capteur électrique de mesure, un circuit de traitement relié au capteur pour transformer des mesures du capteur en données de surveillance, et un moyen de transmission pour transmettre les données de surveillance à un organe collecteur, caractérisé en ce que le circuit de traitement - est miniaturisé, avec une petite taille comprise dans un cube de 40x40x40 mm ou de taille inférieure, - est relié par un lien électrique filaire court au capteur, la longueur de liaison étant inférieure à 200mm, - comporte une batterie embarquée, - et comporte un moyen radio pour transmettre les données de surveillance à un organe collecteur mobile placé temporairement à proximité.

(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 2009/115315 A1

(43) Date de la publication internationale
24 septembre 2009 (24.09.2009)

(51) Classification internationale des brevets :
G01N 27/90 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2009/002005

(22) Date de dépôt international :
18 mars 2009 (18.03.2009)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
0851819 20 mars 2008 (20.03.2008) FR

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) :
EUROPEAN AERONAUTIC DEFENCE AND
SPACE COMPANY EADS FRANCE [FR/FR]; 37
Boulevard de Montmorency, F-75016 Paris (FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : MOREAU,
Katell [FR/FR]; 85 rue de la Croix Nivert, F-75015 Paris

(FR). ROUET, Vincent [FR/FR]; 10, Sente de la Grande
Brèche, F-78630 Orgeval (FR). ROLET, Sébastien [FR/
FR]; 2 rue de Gascogne, F-31830 Plaisance du Touch
(FR).

(74) Mandataire : SCHMIT-CHRETIEN; 8 place du
Ponceau, F-95000 Cergy (FR).

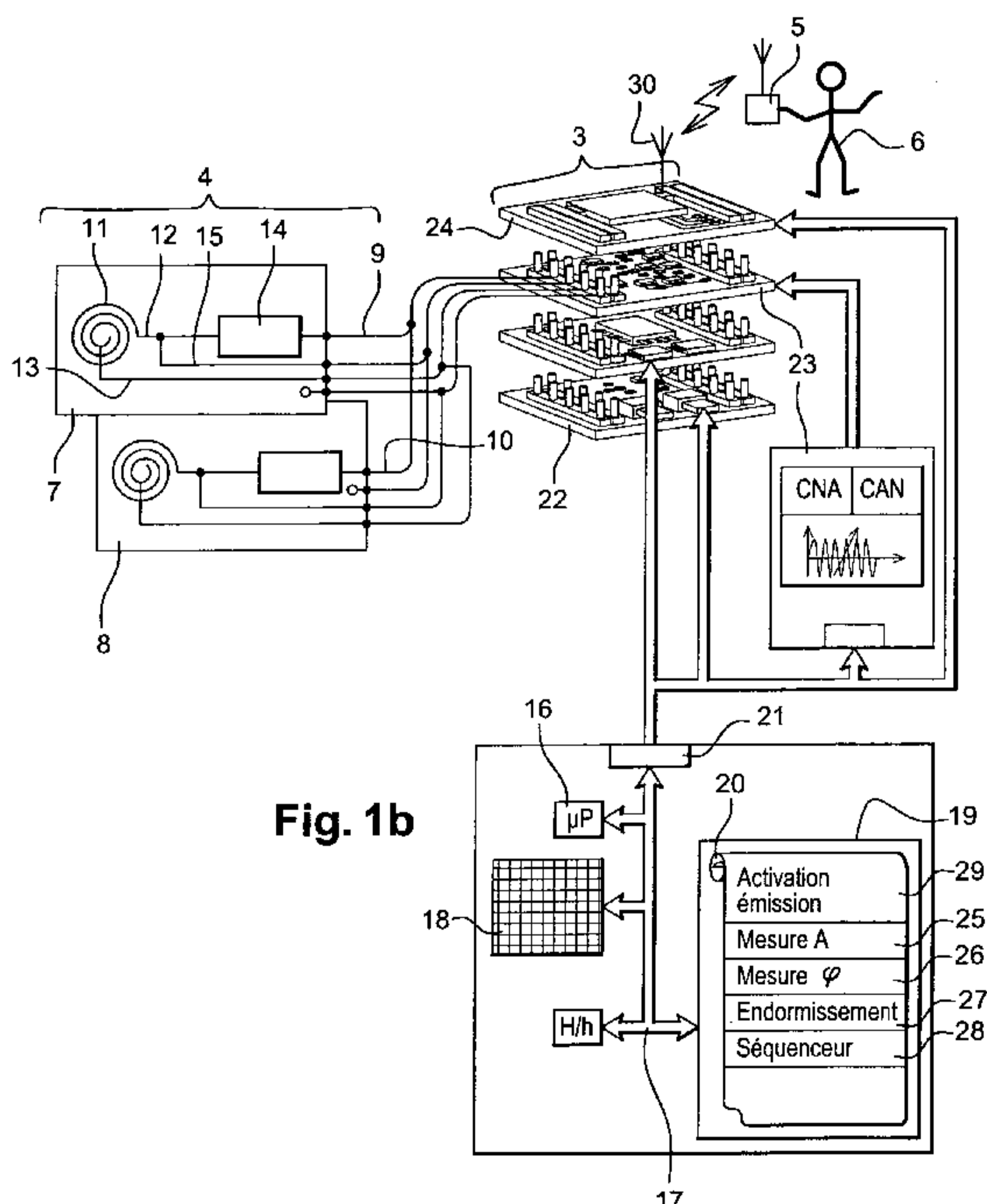
(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre
de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM,
AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ,
CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ,
EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN,
HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR,
KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME,
MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO,
NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG,
SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre
de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH,
GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : DEVICE FOR MONITORING THE STRUCTURE OF A VEHICLE

(54) Titre : DISPOSITIF DE SURVEILLANCE DE LA STRUCTURE D'UN VEHICULE



(57) Abstract : The invention relates to a device for monitoring the structure of a vehicle that comprises an electric measurement sensor, a processing circuit connected to the sensor for converting the sensor measurements into monitoring data, and a transmission means for transmitting the monitoring data to a collecting member, characterised in that the processing circuit: is miniaturised and has a small size so as to be contained within a cube of 40x40x40 mm or less; is connected by a short wired electric link to the sensor, the length of the link being lower than 200 mm; includes an onboard battery; and includes a radio means for transmitting the monitoring data to a mobile collecting member temporarily located in the vicinity thereof.

(57) Abrégé : Dispositif de surveillance de la structure d'un véhicule comportant un capteur électrique de mesure, un circuit de traitement relié au capteur pour transformer des mesures du capteur en données de surveillance, et un moyen de transmission pour transmettre les données de surveillance à un organe collecteur, caractérisé en ce que le circuit de traitement - est miniaturisé, avec une petite taille comprise dans un cube de 40x40x40 mm ou de taille inférieure, - est relié par un lien électrique filaire court au capteur, la longueur de liaison étant inférieure à 200mm, - comporte une batterie embarquée, - et comporte un moyen radio pour transmettre les données de surveillance à un organe collecteur mobile placé temporairement à proximité.

29 Activate transmission
25 Measurement A
26 Measurement φ
27 Sleep mode
28 Sequencer

WO 2009/115315 A1 

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

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

1

Dispositif de surveillance de la structure d'un véhicule

La présente invention a pour objet de suivre l'état de structures métalliques soumises à des contraintes mécaniques, vibratoires ou et
5 environnementales. Elle met en œuvre une méthodologie dans un système électronique embarqué autonome permettant la détection de criques dans ces structures métalliques, en temps réel. L'invention s'applique plus particulièrement aux domaines des transports, aériens, maritimes et terrestres.

10 Les structures des moyens de transport, dans un cas particulier les avions, sont soumises à des contraintes mécaniques, environnementales ou et vibratoires lors de leurs utilisations. Ces structures sont notamment régulièrement inspectées pour évaluer des fissures naissantes: une inspection rapide est effectué à chaque escale, et une autre, plus
15 approfondie, est réalisée lors de maintenances dites de type C-check, après 2400 h de vol. Ces dernières sont longues et coûteuses car il est nécessaire de démonter des panneaux d'accès pour vérifier l'état des structures métalliques de l'avion, inaccessibles en temps normal. Réalisées périodiquement, ces inspections ne permettent donc pas un suivi continu des
20 criques et de leurs évolutions. Il en est de même, dans le domaine ferroviaire, de certaines parties de trains, notamment de trains à grande vitesse.

Des systèmes de suivi des structures sont développés pour optimiser et réduire ces maintenances et par ce fait, leurs coûts et leurs durées. Par
25 exemple des capteurs à courant de Foucault sont utilisés pour détecter des fissures sur des structures métalliques comme l'illustrent les documents US-A-6 952 095, GB-A-2 400 445, GB-A-2 396 427.

Pour interpréter les informations issues de ces capteurs, plusieurs interfaces électroniques ont été réalisées. L'une d'entre elles interprète
30 l'impédance, plus particulièrement la phase, issue du capteur. Cette interface est utilisée pour former une image en deux dimensions de la surface à inspecter, comme le décrit le document US-A-5 006 800. Les inconvénients de cette méthode sont son encombrement et sa forte consommation électrique. De ce fait, la méthode ne peut être embarquée, et les résultats ne
35 sont pas donnés en temps réel.

2

D'autres interfaces interprètent une conductivité issue d'un capteur et sont également utilisées pendant les maintenances. Le suivi des criques ne peut, par conséquent, être continu.

5 D'autres systèmes, utilisant des capteurs acoustiques, ont aussi été mis au point pour étudier, de façon continue, l'état des structures, comme le décrit le brevet WO 2006 111679. Ces méthodes sont souvent très consommatrices en énergie. Les équipements doivent être, par conséquent, branchés sur le réseau électrique embarqué dans l'avion. Ces équipements sont en outre très encombrants.

10 Il existe enfin des systèmes embarqués qui comptabilisent le nombre de contraintes reçues par l'avion, comme décrit dans le document EP-A-1 018 641. Ces contraintes: les décollages, les atterrissages, les turbulences, la poussée subie..., sont comptées par un système de portes logiques et stockées ensuite en mémoire. Les relevés sont ensuite effectués lors des
15 maintenances, et permettent ainsi d'aiguiller les opérateurs lors de leurs contrôles. Cependant, ces dernières méthodes ne donnent pas directement l'état de la structure.

Dans l'invention, la solution proposée consiste à utiliser un système autonome, à transmission sans fil, sur batterie et surtout de faible taille pour
20 être placé où cela est souhaité, sans contrainte de taille, dans un moyen de transport, qui réalise en temps réel le diagnostic de l'état de la structure. La méthode mise en œuvre par ce système autonome consiste à analyser des signaux issus de capteurs par une architecture électronique embarquée, combinant circuits analogiques et numériques. Les algorithmes de traitement
25 étant simplifiés, ils peuvent être embarqués dans un microcontrôleur et le diagnostic peut se faire en temps réel. Les algorithmes étudient notamment l'impédance issue des capteurs et donne l'état et l'évolution des criques. D'autres fonctionnalités déterminent les causes d'apparition des criques, ainsi que leurs évolutions.

30 Les avantages de l'utilisation de ce système par rapport aux systèmes actuels sont:

- une plateforme électronique modulaire (niveaux interchangeable) permettant le suivi de criques et/ou des contraintes environnementales,
- un suivi continu de criques grâce à une électronique embarquée,
35 autonome et communicant sans fil, permettant un meilleur suivi de l'évolution

3

de la crique,

- une connaissance plus approfondie de l'apparition des criques (les données environnementales sont enregistrées en même temps que l'état de la structure),

5 - une connaissance plus approfondie de l'évolution des criques (données environnementales associées),

- une connaissance en temps réel (de façon immédiate, sans utilisation de post traitement via un PC) de l'état de la structure (diagnostic), issue de la mesure de l'amplitude,

10 - une connaissance en temps réel de l'état du capteur (décollé ou non), issue de la mesure de la phase,

- une collecte aisée des informations grâce à une liaison radio,

- une diminution des coûts et du temps de maintenance, évitant ainsi le démontage de certains panneaux lors des maintenances non planifiées,

15 - une faible consommation de l'équipement, permettant une longue utilisation de ce dernier (1 à 2 ans est la durée visée),

- un faible encombrement de l'équipement (intégration 3 D) pour permettre de le placer dans des endroits difficiles d'accès,

20 - un fonctionnement autonome, sans raccordement au réseau électrique facilitant son utilisation. .

L'invention a donc pour objet un dispositif de surveillance de la structure d'un véhicule comportant un capteur électrique de mesure, un circuit de traitement relié au capteur pour transformer des mesures du capteur en données de surveillance, et un moyen de transmission pour
25 transmettre les données de surveillance à un organe collecteur, caractérisé en ce que le circuit de traitement

- est miniaturisé, avec une petite taille comprise dans un cube de 40x40x40 mm, ou moins,

30 - est relié par un lien électrique filaire court au capteur, la longueur de liaison étant inférieure à 200mm,

- comporte une batterie embarquée,

- et comporte des moyens radios pour transmettre les données de surveillance à un organe collecteur mobile placé temporairement à proximité.

L'invention permet ainsi de pallier les limitations présentées dans les
35 systèmes précédents, à savoir,

4

- la consommation d'énergie,
 - un fort encombrement, et donc une limitation d'accès,
 - la présence de grandes liaisons filaires (jusqu' à 50 m),
 - la consultation et l'interprétation des données faites uniquement en
- 5 période de maintenance et non en temps réel,
- le suivi discontinu des structures.

L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui suit et à l'examen des figures qui l'accompagnent. Celles-ci ne sont présentées qu'à titre indicatif et nullement limitatif de l'invention. Les figures montrent:

- 10 - Figures 1a à 1c : un dispositif de surveillance selon l'invention, des variantes de capteurs, et leur mise en place dans un véhicule particulier;
- Figures 2 et 3 des allures de tensions proportionnelles respectivement à une amplitude et à une phase d'un signal délivré par un capteur de l'invention;
- 15 - Figures 4 et 5, des correspondances entre des mesures effectuées par un capteur selon l'invention et une taille d'une crique d'une part et une date d'arrivée à une taille critique d'autre part;
- Figure 6: un exemple d'un algorithme de suivi de crique mis en œuvre par le circuit de traitement de l'invention.

20 La figure 1a montre un moyen de transport 1, ici un avion, embarquant plusieurs dispositifs de surveillance selon l'invention, réalisés sous forme de plateformes électroniques intégrées, ou nœuds. Chaque nœud, autonome, sans fil et de faible taille, est placé dans un endroit connu comme étant sensible. L'ensemble des plateformes (capteur plus circuit électronique)

25 surveille la structure 1.

Chaque dispositif comporte, figure 1b, un circuit de traitement 3 relié à un capteur 4. Le circuit 3 transforme les signaux de mesure produits par le capteur 4 en des données de surveillance. Un organe collecteur 5, par exemple porté par un opérateur 6 passant à proximité d'un dispositif 2 de la

30 structure 1, prélève, lors d'une station de préférence immobile du véhicule, les données de surveillance pour une exploitation de maintenance, par exemple pour vérifier l'état de la structure 1, ou pour provoquer le remplacement de certaines pièces.

Selon l'invention, le dispositif 2 est miniaturisé. Dans un exemple il

35 comporte un circuit de traitement 3 dont la taille est comprise dans un cube

5

de 40mm de coté. Une miniaturisation plus forte est encore attendue en fonction de l'évolution des technologies électroniques et d'un routage plus compact. Ce dispositif 2 miniature comporte également un capteur 4. Dans un exemple préféré le capteur 4 est formé d'un couple de deux capteurs 7 et 8, identiques, destinés à être placés, l'un à un endroit à surveiller de la structure 1, l'autre, servant de test, à proximité de cet endroit, dans un endroit de la structure 1 réputé sain. La proximité des deux capteurs est liée à la longueur d'une connexion électrique filaire 9 et 10 qui relie chacun d'eux au circuit 3. Dans un exemple, les liaisons 9 et 10 souples et doubles sont de longueur comprise entre 50mm et 200mm. Les liaisons 9 et 10 peuvent être connectées aux capteurs 7 et 8 et au circuit 3 d'une manière définitive ou par l'intermédiaire de connecteurs détachables. Dans un exemple les liaisons 9 et 10 portent chacun quatre fils. Il n'est toutefois pas nécessaire de disposer de deux capteurs. En effet, le capteur test servant de référence, il est possible de l'omettre en prévoyant par exemple une calibration sur site ou en usine de la réponse du capteur de mesure.

Chaque capteur est formé d'une bobine, ici réalisé de manière préférentielle par une spirale telle que 11 gravée sur un support souple métallisé, par exemple en une couche de polytetrafluoroéthylène métallisé double face. Le support étant double face, deux connexions 12 et 13, ménagées de chaque coté de la bobine, ou sur une même face grâce à un via, sont connectées à des brins conducteurs de la liaison filaire 9. On peut prévoir dans la connexion 12 une résistance 14 d'adaptation en puissance. La connexion 13 est de préférence une connexion de masse, en particulier commune aux deux capteurs 7 et 8, quand il y en a deux. En variante, figure 1c, le ou les capteurs possèdent un trou central T pour pouvoir être monté autour d'un rivet.

A un point intermédiaire entre la bobine 11 et la résistance 14, est connectée une connexion 15 servant à acheminer le signal d'excitation, et donc de mesure, du capteur. Le principe de la mesure est le suivant. Un signal alternatif est produit par le circuit 3 et, acheminé au travers de la résistance 14, se développe dans la structure 1 à l'endroit où le capteur 7 est placé. Si la structure est saine, s'il n'y a pas de crique, l'amplitude du signal correspondra à la présence d'une self et d'une résistance de valeurs connues Si, par contre, la zone sous jacente à la bobine 11 est fendue, s'il y

6

a une crique, la circulation des courants de Foucault est perturbée. Dans ces conditions, l'inductance mutuelle entre le capteur et la source diminue, tandis que la résistance augmente.

La présence d'un capteur test 8 à proximité du capteur de mesure 7
5 permet de s'affranchir de la calibration, tout en permettant de s'affranchir également des effets de la température. Les signaux mesurés sont alors un rapport ou une différence des amplitudes des signaux mesurés par les capteurs 7 et 8 respectivement. En outre, si un des capteurs 7 ou 8 est détaché de la structure 1, la comparaison de la phase des mesures permet
10 de le détecter immédiatement. En effet, sans inductance mutuelle avec la structure pour l'un d'eux, les signaux injectés dans les capteurs 7 et 8 ne sont alors plus synchrones, il y a alors un décalage de phase.

La figure 1b présente l'intégration à trois dimensions retenue pour le circuit 3, ainsi que les quatre différents niveaux du nœud, l'ensemble formant
15 un cube. Chaque niveau réalise une fonction particulière: une transmission radio, une conversion des signaux issus des capteurs en deux tensions proportionnelles, un traitement des données par microcontrôleur et un stockage des données dans une mémoire, et une alimentation autonome du nœud et les conversions de tensions continues (DC/DC) nécessaires pour
20 alimenter les composants situés sur chaque niveau. Les niveaux sont interchangeables et peuvent être adaptés suivant l'application visée (par exemple des contraintes mécaniques et ou environnementales).

Le circuit 3 comporte ainsi d'une manière schématique, à un niveau, un microprocesseur 16 relié par un bus 17 de données, d'adresses et de
25 commandes, à une mémoire 18 où sont mémorisées des données de surveillance, à une mémoire programme 19 mémorisant un programme 20, à une horloge H/h, éventuellement capable de cadencer le microprocesseur de manière rapide ou lente et à une interface 21 de communication du premier niveau avec les autres niveaux.

30 L'interface 21 comporte de préférence des broches de connexion traversantes pour relier entre eux les différents niveaux du circuit 3. De ce fait la position de ces derniers est de préférence interchangeable dans le circuit 3 cubique.

Un deuxième niveau 22 du circuit 3, lui aussi relié à l'interface 21,
35 comme tous les autres niveaux, est un niveau de préférence inférieur en ce

7

sens qu'il est destiné à être celui qui reçoit la batterie, ou de préférence une pile capable de fonctionner entre des températures de -60°C et $+85^{\circ}\text{C}$, et qui est fixé sur la structure, non loin de la structure à surveiller.

Un troisième niveau 23 est en communication entre le niveau du microprocesseur 16-20 et les capteurs 7 et 8 par l'intermédiaire des liaisons 9 et 10. Dans ce niveau 23, les fonctions électroniques effectuées sont des conversions de l'impédance en deux tensions proportionnelles, ainsi que, de préférence, une excitation sinusoïdale des injecteurs reliés aux capteurs.

Un quatrième niveau 24 sert pour la liaison radioélectrique avec l'organe 5.

Dans une application préférée, les différents composants (mémoire, générateur de sinus, conditionnement, radio) communiquent par deux types d'interface série: une interface préférée SPI (Serial Peripheral Interface) et UART (Emetteur/récepteur asynchrone universel). Le Tableau 1 ci-dessous présente la localisation de chaque fonctionnalité dans le cube :

Tableau 1

Fonction	Numéro du niveau de 1 à 4 en partant du bas)
Radio	4
Conditionnement	3
Conversions analogique numérique et numérique analogique	2
Microcontrôleur	2
Mémoire (par exemple 1 Moctets)	2
Alimentation, conversion de tension	1
Capteurs 7, 8	externes

Dans le programme 20 on a organisé en sous programmes des tâches 25 à 29. La tâche 25 est une tâche de mesure de l'amplitude du signal délivré par le capteur 7 (et au besoin 8) pour connaître la longueur et la profondeur d'une crique. La mesure de la longueur de la crique sera expliquée plus loin. La modification de la fréquence du signal injecté par l'injecteur permet par ailleurs de connaître la profondeur dans le métal de la crique. Plus la fréquence est élevée, entre 100KHz et 1000KHZ par exemple, moins le signal pénètre dans le métal. Aussi, la réponse donnée par le capteur à différentes fréquences permet de connaître la profondeur de la

8

crique.

La tâche 26 de mesure de phase φ entre les signaux des deux capteurs permet de s'assurer que le dispositif est toujours bien au contact de la structure 1.

5 La tâche 27 est une tâche d'endormissement du processeur 16. Par exemple, pendant plusieurs dizaines de minutes après une mesure, par exemple une heure, le microprocesseur cesse toutes ses fonctions. De préférence dans ce cas, l'horloge H/h de cadencement du microprocesseur passe d'un rythme rapide H à un rythme lent h pour que le comptage de la
10 durée d'endormissement lui-même ne pénalise pas la capacité d'autonomie du dispositif. Avec les grandeurs indiquées ci-dessus, pour des piles facilement disponibles, on a estimé que la durée d'autonomie peut être de trois ans. Cette autonomie est à rapprocher des surconsommations rencontrées dans l'état de la technique, qui elles-mêmes imposaient le
15 passage de fils d'alimentation supplémentaires, ce qui grevait le coût et le poids du véhicule.

La tâche 28 représente le système d'exploitation, le séquenceur du microprocesseur 16.

20 La tâche 29 représente les opérations qui sont lancées lorsqu'un opérateur 6 s'approche du circuit 2. L'organe de collecte 5 émet alors à la demande de l'opérateur 6 un ordre, reçu par une antenne 30 du niveau 24, qui lui-même met en service une émission à destination de l'organe 5 des données mémorisées dans la mémoire 18.

25 Un intervalle de temps entre chaque prise de mesure peut être configuré dans la tâche 27 via une interface de microordinateur, PC. Les mesures sont ensuite analysées par un algorithme 25-26, contenu dans le circuit 3, et l'état de la structure, symbolisé par un numéro, est enregistré dans la mémoire 18. La date associée à la mesure, et produite par l'horloge H/h, est également sauvegardée. Le diagnostic de la structure est connu
30 immédiatement. Les données sont ensuite récupérées par radio sur un assistant électronique personnel 5, PDA, ou un microordinateur portable. Elles sont affichées dans un éditeur de type tableur, chaque fois que nécessaire, en particulier à chaque maintenance. L'évolution d'une crique est ainsi connue.

35 Une fonctionnalité supplémentaire permet d'acquérir, en même temps,

9

les conditions environnementales et de les sauvegarder en mémoire. Ainsi, en comparant ces données (état de la structure et données climatiques), les conditions de développement de la fissure sont identifiées. De plus, un seuil critique de longueur de crique peut être intégré au système. Une estimation
5 de la date d'atteinte de cette longueur est automatiquement calculée par l'algorithme. Ce calcul se fonde sur une régression linéaire, à partir des dates enregistrées pour chaque palier franchi. Ainsi, une maintenance peut être planifiée, ou repoussée, si nécessaire (à l'analyse de la longueur de la crique).

10 L'invention sera utilisée par les compagnies aériennes, maritimes et ferroviaires pour réaliser les maintenances sur leur flotte (avions, hélicoptères, trains, bateaux...). Elle permet de connaître précisément quand une structure est défectueuse (apparition de criques) et l'évolution des défauts. Elle optimise donc les maintenances: le changement d'une pièce
15 peut être avancé ou repoussé, évitant les maintenances non planifiées. De plus, elle limite les coûts et les temps de maintenances, car l'utilisateur doit simplement télécharger les données et inspecter partiellement le véhicule de transport, l'avion. Par ailleurs, les suivis de développement de criques sont améliorés et leurs causes peuvent être identifiées (changement de
20 température, pression, humidité, décollage...).

De préférence, l'ensemble des capteurs forme un réseau et les nœuds communiquent entre eux par liaison radio (par exemple de type Zigbee pour limiter la consommation). Les données, analysées et enregistrées de
25 manière continue, sont collectées régulièrement par une centrale d'acquisition au sol (par exemple, tous les deux ou quatre mois) par radio, lors d'une maintenance de l'avion. Elles donnent directement l'état de la structure testée

Pour limiter la consommation du dispositif, et étant donné le temps moyen de propagation d'une crique, sur 100 000 heures de vol, la valeur par
30 défaut est fixée, dans une configuration préférentielle, à une mesure par heure, le reste du temps, le dispositif est en veille. Les séries de données obtenues sont traitées par un algorithme dans le microcontrôleur 16-20, dès l'acquisition de nouvelles mesures.

Les figures 2 et 3 présentent les sorties caractéristiques obtenues
35 après le conditionnement. L'évolution des courbes d'amplitude sont d'abord

10

décroissantes puis croissantes avec des pentes plus ou moins abruptes selon la taille de la fissure détectée. L'algorithme présenté en figure 6 se fonde sur cette pente. Cet algorithme situe l'état de la structure (variable nommée `_crack_state`), et donc la longueur de la fissure résultante, par 5 paliers, numérotés ici de 0 à 8

La surface sensible du capteur à courant de Foucault est celle de la bobine 11. Dans une configuration préférentielle, c'est un cercle de diamètre égal à 20 mm. Cette taille limite la longueur maximale de crique à détecter. Le nombre des différents paliers est également fixé par le diamètre de la 10 surface sensible. Ici, la surface sensible a été subdivisée en 8 parties, soit des longueurs de 2,5 mm. L'algorithme décrit dans la figure 6 peut facilement être adapté pour d'autres surfaces sensibles et pour un nombre de paliers différents.

Le tableau 2 suivant est un descriptif des pentes de la tension 15 caractérisant l'amplitude.

Palier	Pente positive (↑)	Pente négative (↓)	Pente (+++ : forte; ++ : faible; + : très faible)
1			+++
2			++
3	X		+++
4	X		++
5	x		+
6		X	+
7	x		+
8		x	+

Tableau 2

L'algorithme utilise principalement l'amplitude de l'impédance de déséquilibre du pont formé par les deux capteurs 7 et 8. Par exemple une 20 différence de 100 mV à 180 KHz est révélatrice d'une crique de longueur 5 mm. La phase est utilisée ici pour savoir si le capteur est correctement collé sur la structure. La première prise de mesure est faite sur une structure saine c'est-à-dire sans crique comme référence. Les deux tensions issues de ces mesures sont stockées dans des variables `Mag_n` et `Phase_n` au temps `n`. Pour les mesures suivantes, les précédentes mesures sont stockées dans 25 les variables caractérisant le temps `n-1`, `Mag_n-1` et `Phase_n-1`. Les

11

nouvelles valeurs sont stockées dans les variables relatives au temps n. L'algorithme travaille sur la différence d'amplitude de ces deux valeurs (dif_mag) c'est-à-dire sur le signe et sur l'écart entre ces dernières. Suivant le signe positif ($\Delta\uparrow$) ou négatif ($\Delta\downarrow$), et la pente plus ou moins abrupte (forte, faible ou très faible) de cette différence l'état caractérisant la structure évolue dans les différents états numérotés de 0 à 8 comme le présente l'algorithme. Le suivi temporel ainsi proposé par l'algorithme de la figure 6 permet ainsi de tenir compte du fait que pour une crique, le signal commence d'abord par décroître avant de croître, avec donc des variations contraires.

10 Par exemple pour passer de l'état 0 à l'état 1, il faut que la différence d'amplitude soit supérieure d'un seuil $\Delta\downarrow$ fort fixe.

La précision de la mesure est environ 50 mV, c'est pourquoi, toute différence d'amplitude mesurée entre les deux capteurs, inférieure à 50 mV (nommé A dans l'algorithme), ne sera pas prise en compte par ce dernier. Si le capteur est mal collé sur la structure, c'est à dire si les valeurs de phase et d'amplitude dépassent un seuil fixé, un message d'alerte est automatiquement enregistré.

L'algorithme réalise donc, en temps réel, l'analyse de l'état de la structure et stocke ensuite en mémoire la valeur de cet état. La longueur de la crique maximale en découle. Le temps associé est également enregistré, ce qui permet de suivre, précisément, l'évolution de la crique.

Le dispositif possède également une fonction d'acquisition de paramètres environnementaux (température, humidité), ainsi que la pression et les vibrations. Cette fonctionnalité est activée si l'utilisateur veut comparer les différents états de la structure testée avec les paramètres environnementaux enregistrés. Ainsi, les conditions d'apparition et d'évolution des criques pourront être identifiées.

REVENDICATIONS

- 1 - Dispositif de surveillance de la structure d'un véhicule comportant un capteur électrique de mesure, un circuit de traitement relié au capteur pour transformer des mesures du capteur en données de surveillance, et un moyen de transmission pour transmettre les données de surveillance à un organe collecteur,
- dans lequel le circuit de traitement
- est miniaturisé, avec une taille comprise dans un cube de 40x40x40 mm ou de taille inférieure,
 - est relié au capteur par un lien électrique filaire ayant une longueur de liaison inférieure à 200 mm,
 - comporte une batterie embarquée,
 - comporte un circuit pour mesurer une date,
 - comporte un moyen d'analyse de conditions environnementales,
 - comporte une mémoire pour mémoriser les mesures et/ou les données de surveillance apte à stocker l'évolution des mesures en fonction des instants de mesure et des conditions environnementales,
 - ledit moyen de transmission étant adapté pour transmettre les données de surveillance audit organe collecteur mobile placé temporairement à proximité du dispositif de surveillance,
- et dans lequel
- le capteur électrique de mesure est un capteur à courants de Foucault et comporte un premier capteur de mesure, placé sur la structure en un endroit à surveiller, et un deuxième capteur test, placé sur la structure en un endroit sain, pour mesurer par différence de phase entre des signaux produits par les premier et deuxième capteurs leur parfaite adhésion à la structure à surveiller.
- 2 - Dispositif selon la revendication 1, dans lequel le circuit de traitement comporte une fonction émission du capteur activée lors d'une station immobile du véhicule, par l'organe collecteur.

- 3 - Dispositif selon la revendication 1 ou 2, dans lequel le capteur est un capteur de mesure de crique.
- 5 4 - Dispositif selon la revendication 1, dans lequel le capteur à courants de Foucault est une bobine en spirale portée par un circuit flexible métallisé double face, raccordé au circuit de traitement par une connexion filaire souple double placée audit endroit à surveiller, et associé à un autre capteur de référence monté à proximité de l'endroit à surveiller dans ledit
10 endroit sain, et dans lequel le circuit de traitement mesure une différence du signal délivré par un capteur par rapport à l'autre.
- 5 - Dispositif selon la revendication 1 ou 4, dans lequel le capteur à courant de Foucault possède une taille de surface donnée et dans lequel le circuit de
15 traitement comporte des moyens pour quantifier les mesures de façon à mesurer une évolution d'une taille d'une crique.
- 6 - Dispositif selon la revendication 1, dans lequel le circuit de traitement est organisé selon une architecture par niveaux, dans lequel les niveaux sont
20 interchangeable et connectés entre eux et comporte un premier niveau d'alimentation électrique surmonté d'un deuxième niveau de traitement numérique, lui-même surmonté d'un troisième niveau de conversion des signaux issus dudit capteur en deux tensions proportionnelles, le second niveau les convertissant en valeurs numériques, le troisième niveau étant
25 lui-même surmonté d'un quatrième niveau d'émission réception radioélectrique.
- 7 - Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, dans lequel le circuit de traitement comporte un séquenceur pour réaliser des mesures
30 espacées les unes des autres de plusieurs dizaines de minutes et pour provoquer un endormissement dudit circuit de traitement entre les mesures.

8 - Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, dans lequel le circuit de traitement comporte une pile capable de fonctionner entre des températures de -60°C et +85°C.

5

9 - Dispositif selon la revendication 1, dans lequel le circuit de traitement comporte un générateur de signal sinusoïdal ayant une fréquence comprise entre 100KHz et 1000KHz pour mesurer la profondeur d'une crique, et un séquenceur pour faire varier cette fréquence au cours d'une mesure de manière à explorer la profondeur de la crique.

10

10 - Dispositif selon la revendication 1, dans lequel ledit capteur possède un trou au milieu pour être placé autour d'un rivet.

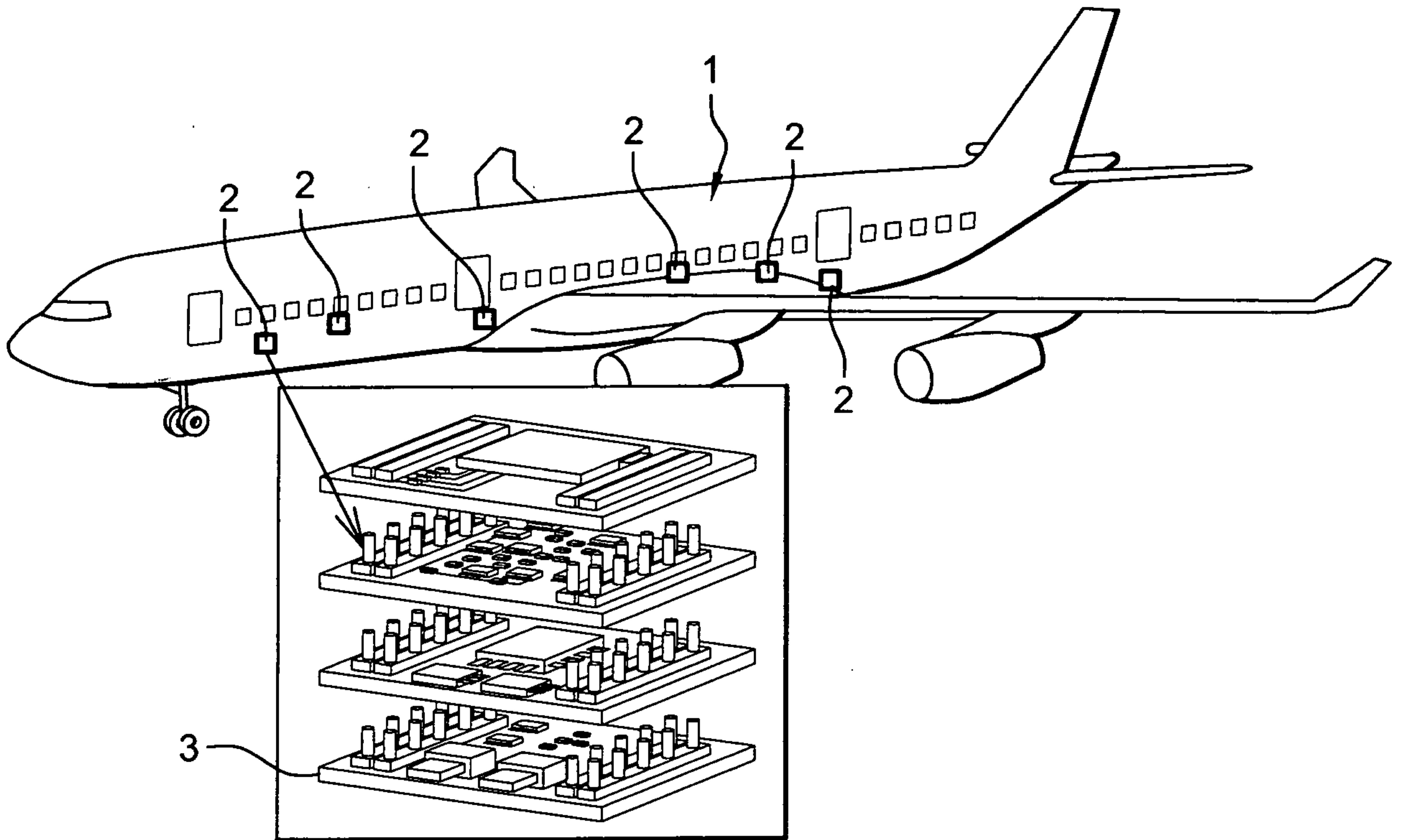


Fig. 1a

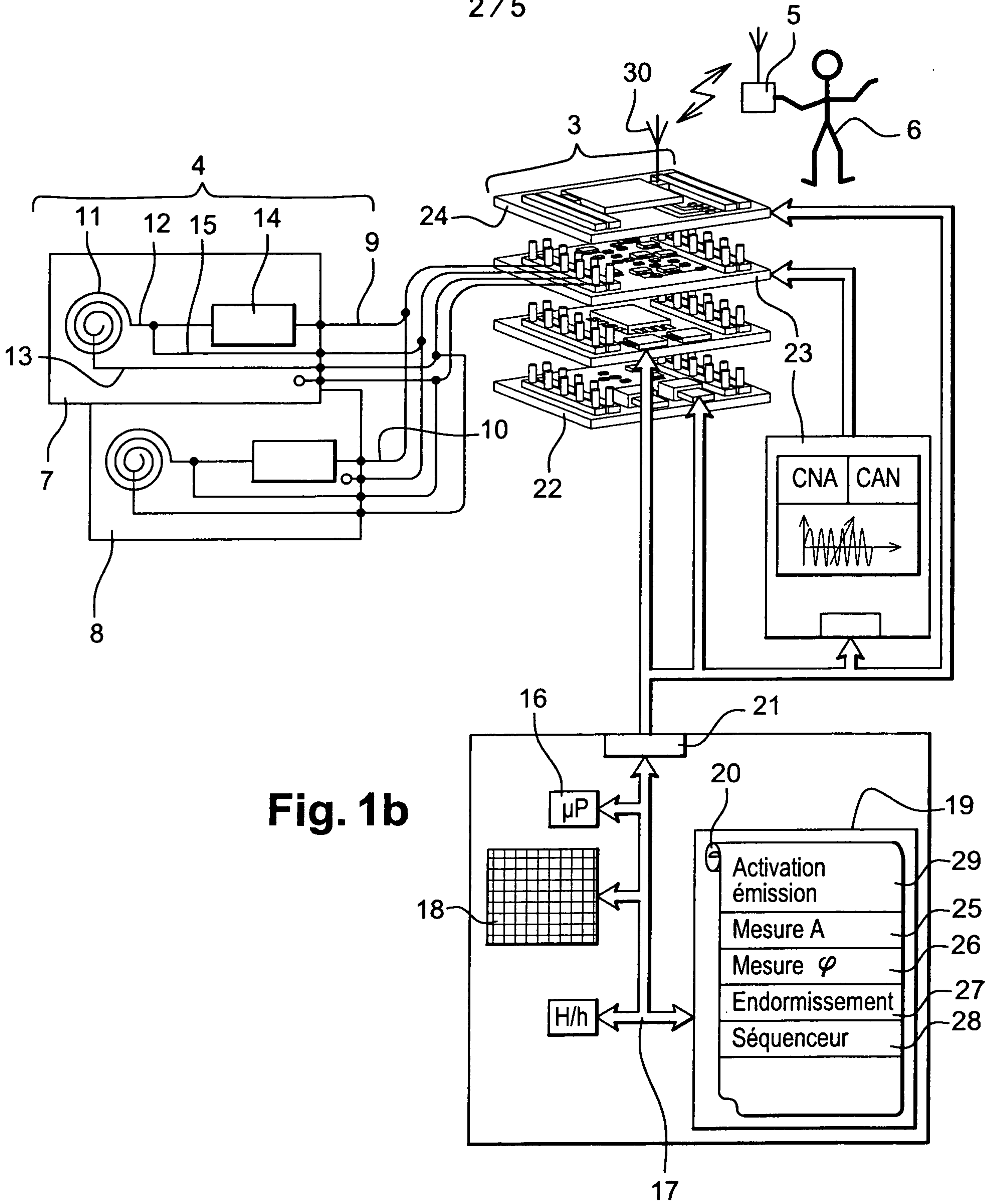
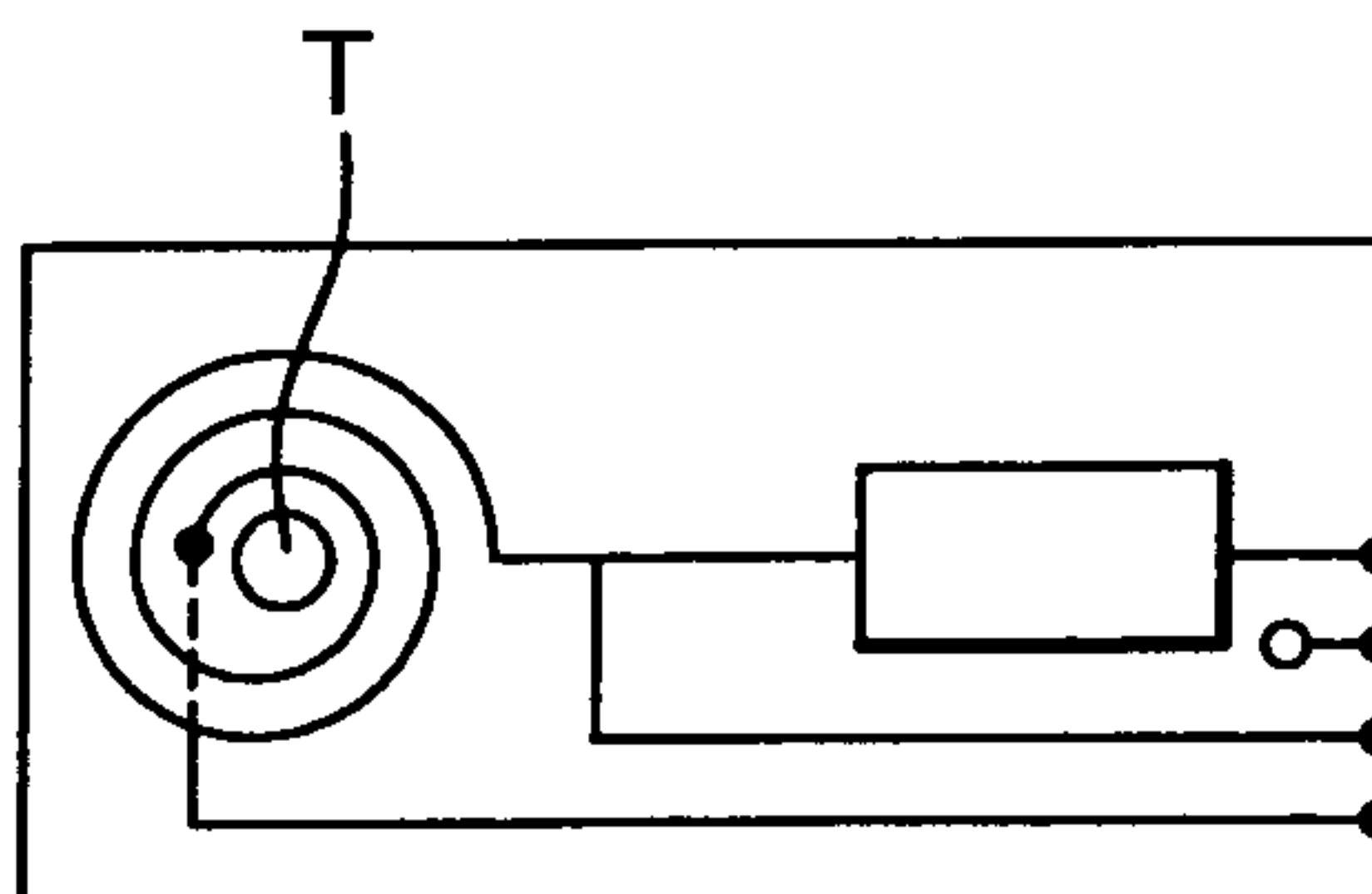


Fig. 1c



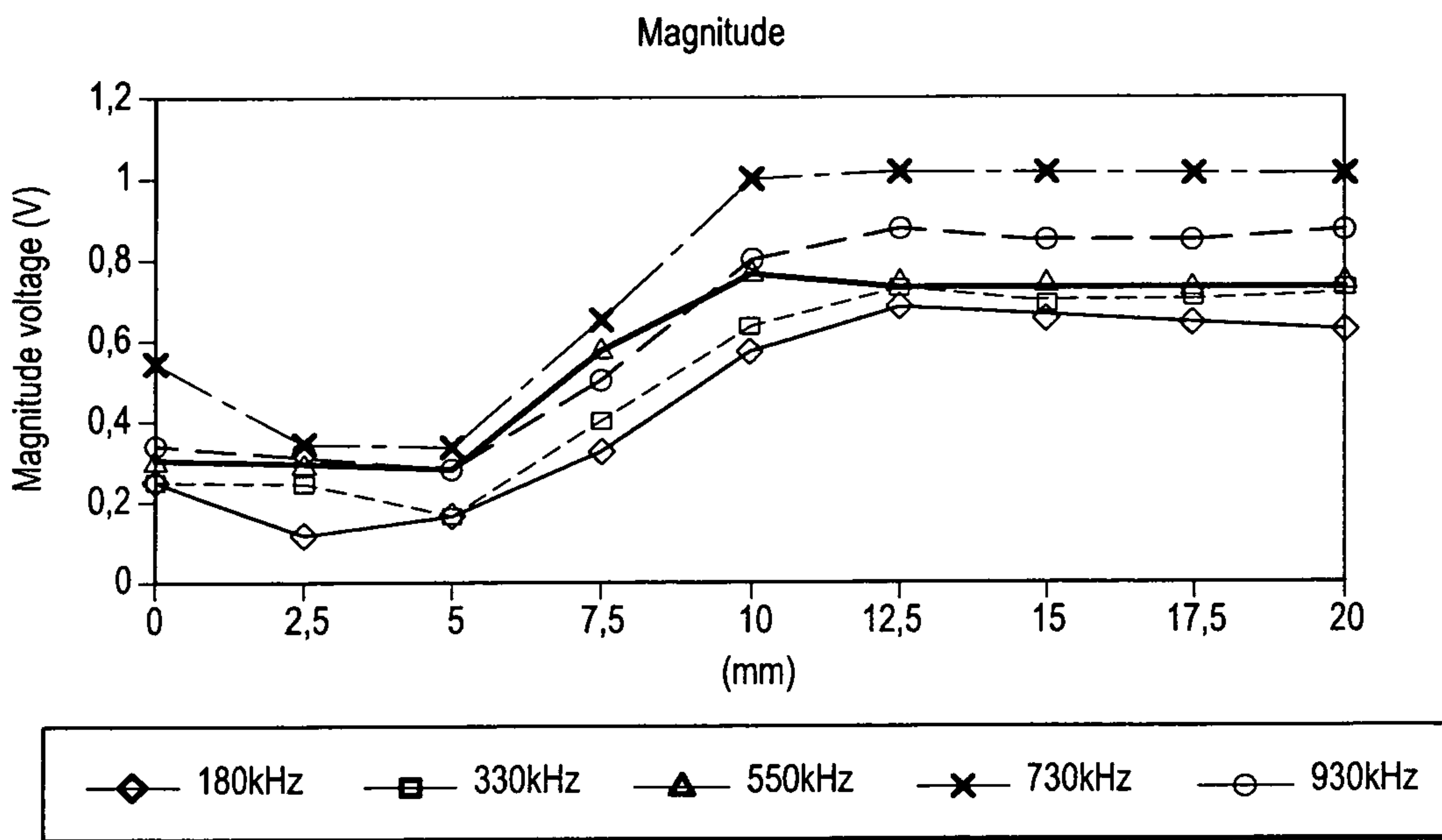


Fig. 2

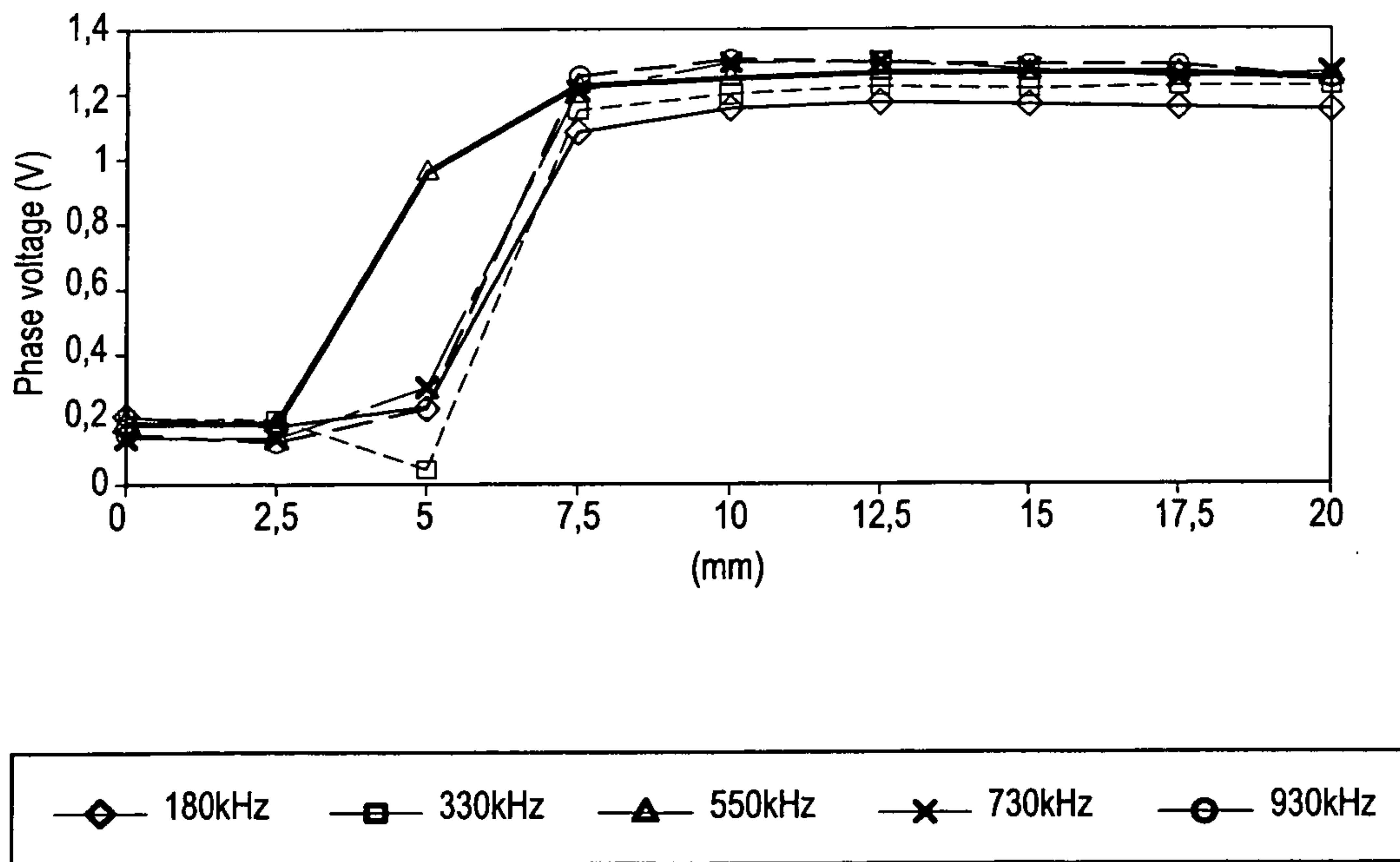


Fig. 3

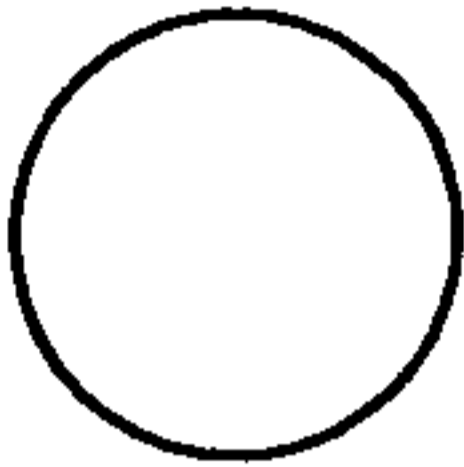
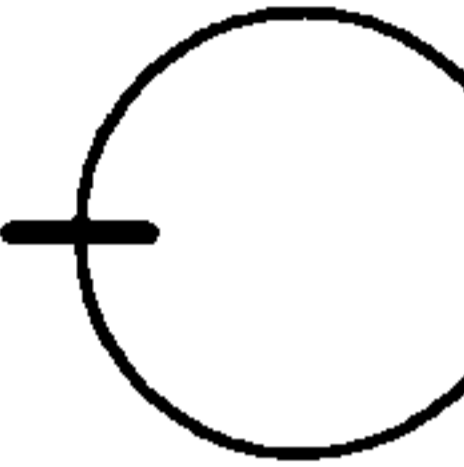
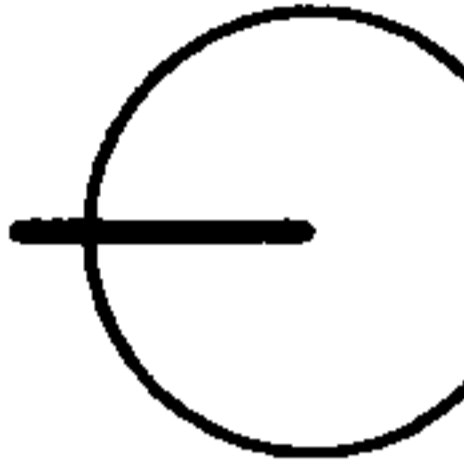
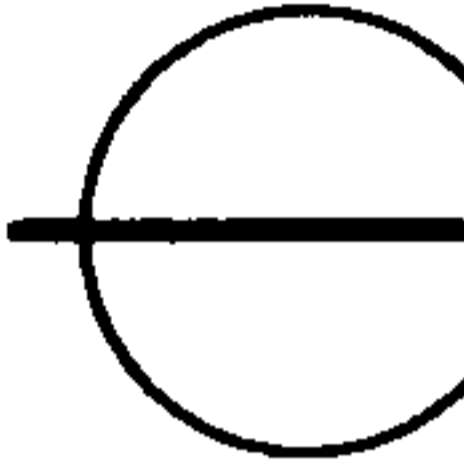
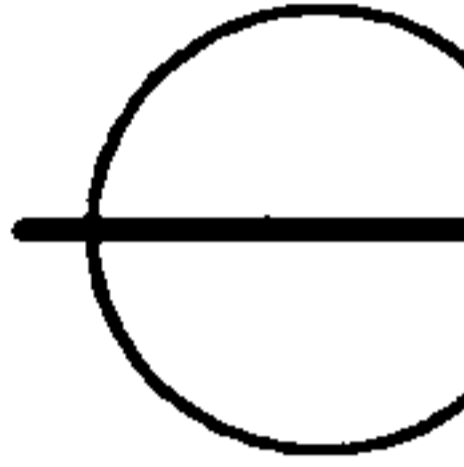
Exemples de cas à distinguer (tous ne sont pas cités):					
Capteur (ϕ=20mm) plaqué sur la structure à tester					
Statut de la structure (crack_state)	0	1	4	6	8
Longueur maximale de la fissure (mm)	0	2,5	10	15	20

Fig. 4

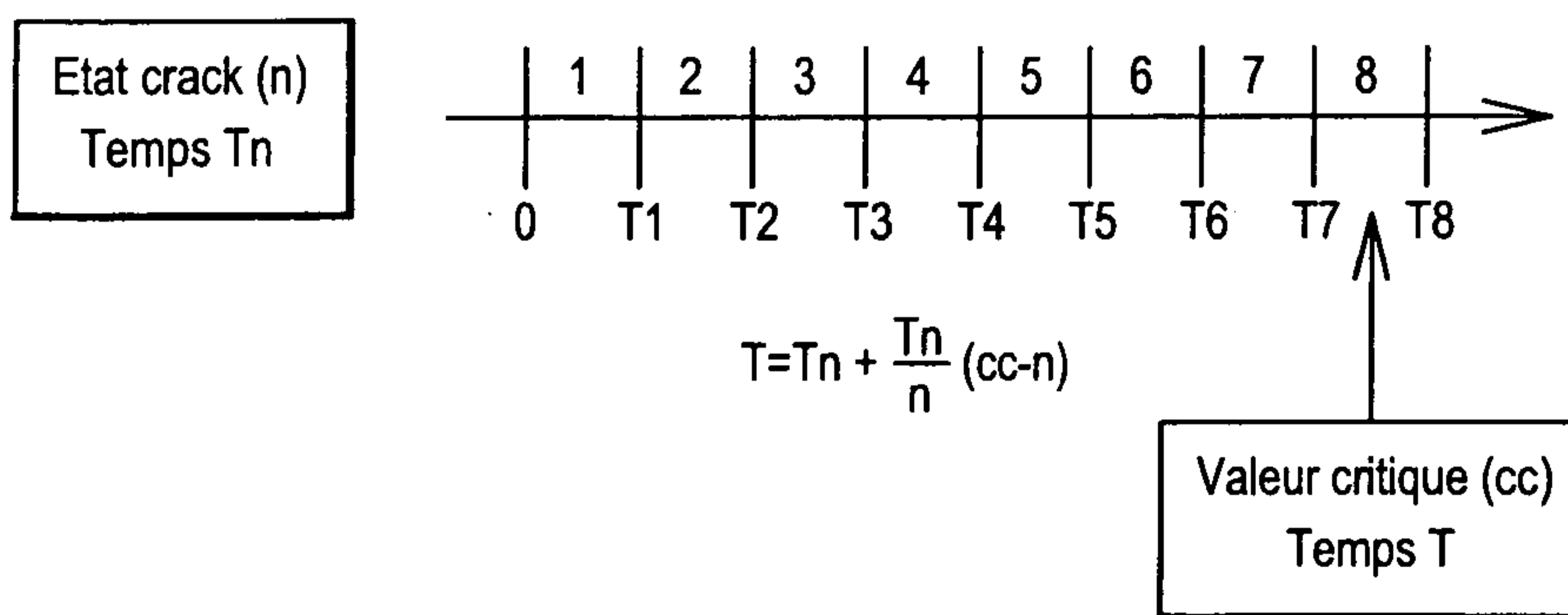


Fig. 5

Fig. 6

