

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

(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
27 février 2003 (27.02.2003)

PCT

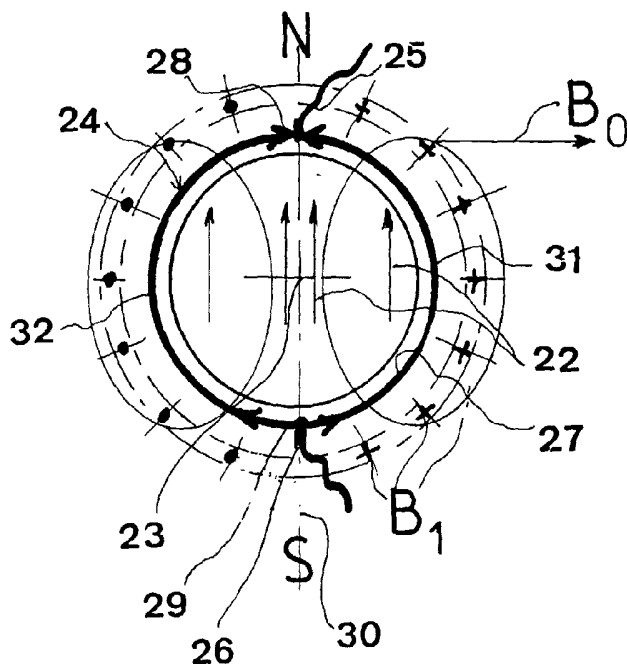
(10) Numéro de publication internationale
WO 03/016935 A2

- (51) Classification internationale des brevets⁷ : **G01R 33/34**
- (21) Numéro de la demande internationale : PCT/FR02/02891
- (22) Date de dépôt international : 16 août 2002 (16.08.2002)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité :
01/10888 17 août 2001 (17.08.2001) FR
01/11771 12 septembre 2001 (12.09.2001) FR
- (71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : **IN-NOV-PRO** [FR/FR]; "Les Eaux Claires", 19, route de Paris, F-27100 Le Vaudreuil (FR).
- (72) Inventeurs; et
- (75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : **LO-CATELLI, Marcel** [FR/FR]; 4, pré Morard, F-38330 Montbonnot (FR). **MARTIN, Jean-Pierre** [FR/FR]; "Les Eaux Claires", 19, route de Paris, F-27100 Le Vaudreuil (FR).
- (74) Mandataire : **FLAVENOT, Bernard**; Abritt, 17, rue du Dr Charcot, F-91290 La Norville (FR).
- (81) États désignés (national) : AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW.

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: DEVICE FOR THE NMR ANALYSIS OF A MATERIAL

(54) Titre : DISPOSITIF POUR L'ETUDE D'UN MATERIAU PAR RMN



(57) Abstract: The invention relates to devices that are used for the NMR analysis of a material. According to the invention, the device is essentially characterised in that it comprises: a permanent magnet (21) having a north-south magnetisation (22) which is more or less perpendicular to the longitudinal axis thereof (23); and at least one RF antenna (24) consisting of at least one closed loop (27) which is essentially situated in a plane that is parallel to the north-south direction. Said closed loop surrounds the magnet (21) and the two connection terminals (25, 26) comprise two points (28, 29) on the closed loop (27) which are located on a straight line (30) that divides the loop into two more or less equal parts. The invention is particularly, although not exclusively, suitable for use in the oil industry in order to determine, for example, the quantity of water in the rock surrounding a well wall, the porosity distribution in said rock and/or the permeability thereof, etc.

(57) Abrégé: La présente invention concerne les dispositifs pour l'étude d'un matériau par le procédé de la RMN. Le dispositif selon l'invention se caractérise essentiellement par le fait qu'il comporte un aimant permanent 21 présentant une aimantation de direction Nord-Sud 22 sensiblement perpendiculaire à son axe longitudinal 23, au

moins une antenne RF 24 constituée par au moins une boucle fermée 27 sensiblement située dans un plan parallèle à la direction Nord-Sud, la boucle fermée entourant l'aimant 21, les deux bornes de connexion 25, 26 étant constitués par deux points 28, 29 de la boucle fermée 27 situés sur une droite 30 coupant la boucle en deux parties sensiblement égales. Application, notamment mais non exclusivement, dans le domaine de l'industrie pétrolière pour déterminer par exemple la quantité d'eau dans la roche entourant la paroi d'un puits, la distribution de la porosité de cette roche et/ou sa perméabilité, etc.



WO 03/016935 A2



(84) **États désignés (régional)** : brevet ARIPO (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), brevet eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), brevet européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SK, TR), brevet OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

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

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

DISPOSITIF POUR L'ETUDE D'UN MATERIAU PAR RMN

DOMAINE DE L'INVENTION

La présente invention concerne les dispositifs pour l'étude de matériaux par la
5 Résonance Magnétique Nucléaire définie par le sigle "RMN", notamment les
dispositifs permettant d'évaluer la densité des protons présents dans un corps
donné, qui trouvent des applications particulièrement avantageuses, notamment,
dans le domaine de l'industrie alimentaire en vue de déterminer par exemple la
quantité d'eau et/ou de graisse dans les aliments et dans le domaine de l'industrie
10 pétrolière pour déterminer par exemple la quantité d'eau dans la roche entourant la
paroi d'un puits, la distribution de la porosité de cette roche et/ou sa perméabilité.

ART ANTERIEUR

Il existe une technique connue utilisant la Résonance Magnétique Nucléaire
15 connue sous la dénomination RMN, qui permet de déterminer la quantité de protons
dans un matériau donné, c'est-à-dire le nombre de radicaux libres d'Hydrogène, et
éventuellement d'identifier ce matériau. De nombreux dispositifs ont été réalisés
pour mettre en œuvre cette technique. Très schématiquement, ils comportent une
source magnétique, par exemple un aimant permanent, pour induire un champ
20 magnétique statique dans une zone donnée du matériau à investiguer, dont les
lignes de forces ont une direction donnée pour polariser les protons présents dans
cette zone.

Une antenne émettrice constituée par exemple par une bobine plate
alimentée par un générateur de courant électrique radiofréquence, est associée à la
25 source magnétique de façon que les lignes de force du champ magnétique
radiofréquence (RF) induit par cette bobine lorsqu'elle est alimentée par le courant
électrique radiofréquence, fasse, dans la zone du matériau à investiguer, un angle
non nul avec les lignes de force du champ magnétique statique de l'aimant
permanent, et avantageusement égal à quatre vingt dix degrés.

30 La fréquence du champ radiofréquence RF est telle qu'elle correspond à la
fréquence de précession des protons dans le champ statique afin d'induire une
interaction résonante entre les protons et le champ radiofréquence. Cette interaction
permet de faire tourner la polarisation des protons à partir d'impulsions du champ
radiofréquence d'un angle dépendant de l'amplitude du champ radiofréquence et de

la durée des impulsions.

Le dispositif comporte en outre une antenne réceptrice constituée par exemple par une bobine qui peut être constituée par la même bobine que la bobine émettrice, cette antenne dans sa fonction réceptrice captant le champ magnétique produit par les protons lorsque le courant radiofréquence est annulé et qu'ils reviennent à leur polarisation initiale sous l'action uniquement du champ statique.

Des moyens pour alimenter l'antenne en courant électrique radio-fréquence et analyser les signaux captés par elle sont décrits et illustrés par exemple dans le document EP-A-0 295 134.

L'amplitude du champ magnétique détecté par l'antenne dans sa fonction réceptrice est une fonction du nombre de protons qui ont été excités dans la zone d'investigation, et le temps que mettent les protons pour passer de leur seconde polarisation à la première, connu par les techniciens sous le terme de « temps de relaxation », est une image de la nature des produits auxquels appartenaient ces protons.

Cette technique, bien connue des hommes du métier est décrite dans de nombreux documents et elle ne sera donc pas plus amplement décrite ici.

Il existe de nombreuses réalisations de dispositif pour l'étude par RMN permettant de mettre en œuvre cette technique, qui répondent à la description ci-dessus, par exemple celle décrit dans le US-A-5 610 522.

Les figures 1 et 2 représentent à titre d'exemple illustratif un mode de réalisation d'un tel dispositif connu de l'art antérieur.

Il comporte essentiellement un aimant permanent 1 généralement sous la forme d'un cylindre de révolution dont la direction d'aimantation Nord-Sud 2 est située dans un plan perpendiculaire à son axe 3. Il comporte en outre une bobine plate 4 dont les spires 5 sensiblement planes entourent l'aimant 1 comme illustré sur les figures 1 et 2.

En référence à la figure 2, un tel dispositif produit une induction statique B_0 qui est quasiment homogène dans un cylindre tubulaire entourant l'aimant permanent 1. Quand la bobine plate 4 est alimentée en un courant radio-fréquence, elle produit une induction radio-fréquence B_1 qui est perpendiculaire à l'induction statique B_0 .

Avec un tel dispositif, il est possible d'investiguer une zone de mesure qui est schématiquement définie en 6 sur la figure 2 et qui correspond sensiblement à une

zone annulaire cylindrique entourant l'aimant permanent 1. Pour effectuer une analyse d'un matériau par le procédé RMN comme défini ci-avant, il est nécessaire que cette zone annulaire de mesure 6 ait au moins une partie commune avec le matériau à analyser.

5 Dans cette configuration, l'aimant permanent 1 se trouve donc dans une zone de forte induction radio-fréquence, ce qui peut se traduire par des pertes par courants de Foucault du fait que les aimants permanents utilisés (NdFeB, SmCo, ...) présentent une conductivité électrique non nulle.

10 Ces courants parasites peuvent donc induire des champs parasites qui, en se superposant au champ produit pour la mesure, réduisent la sensibilité de cette mesure.

BUT DE L'INVENTION

15 La présente invention a donc pour but de réaliser un dispositif pour l'étude d'un matériau par RMN, du type à aimant permanent, qui soit plus performant que ceux de l'art antérieur et qui réduise fortement les effets parasites induits par les courants de Foucault produits dans l'aimant permanent.

OBJET DE L'INVENTION

20 Plus précisément, la présente invention a pour objet un dispositif pour l'étude d'un matériau par le procédé de la RMN, caractérisée par le fait qu'il comporte :
un aimant permanent apte à produire un champ magnétique statique, et
des moyens pour créer un champ magnétique RF respectivement dans deux
demi-espaces ayant chacun une zone commune avec l'aimant permanent, les lignes
25 de force du champ magnétique RF dans les deux zones communes étant de sens opposés.

La présente invention a aussi pour objet un dispositif pour l'étude d'un matériau par le procédé de la RMN, caractérisé par le fait qu'il comporte :

30 un aimant permanent apte à produire un champ magnétique statique et ayant une forme sensiblement cylindrique présentant un plan de symétrie, et
des moyens pour créer un champ magnétique RF respectivement dans les deux demi-espaces limités sensiblement par ledit plan de symétrie et ayant chacun une zone commune avec l'aimant permanent, les lignes de force du champ magnétique RF dans les deux zones communes étant de sens opposés.

La présente invention a aussi pour objet un dispositif pour l'étude d'un matériau par le procédé de la RMN, comportant:

un aimant permanent de forme sensiblement cylindrique présentant une aimantation uniforme de direction Nord-Sud, et

5 au moins une antenne, cette antenne comportant deux bornes de connexion aptes à être reliées d'une part à un générateur commandable de courant électrique radio-fréquence et d'autre part à un récepteur apte à analyser les signaux électriques délivrés par l'antenne à ces bornes de connexion, caractérisé par le fait que ladite antenne comporte :

10 • deux groupes d'une pluralité de demi-boucles toutes sensiblement identiques, les demi-boucles de chaque groupe étant situées dans des plans sensiblement parallèles entre eux, les deux extrémités des demi-boucles d'un même groupe étant respectivement situées sur deux droites sensiblement perpendiculaires aux dits plans, les deux groupes de demi-boucles étant montés en coopération avec
15 ledit aimant de façon qu'ils soient situés de part et d'autre dudit aimant en l'entourant au moins partiellement et que les deux droites de chaque groupe soient situées de part et d'autre dudit aimant en étant sensiblement parallèles à l'axe dudit aimant, et

• des conducteurs électriques pour relier en série les demi-boucles de chaque groupe de façon que, pour chaque groupe, une extrémité d'une demi-boucle située
20 sur l'une des deux droites soit reliée électriquement à l'extrémité d'une autre demi-boucle située sur l'autre droite, et que les deux extrémités libres des demi-boucles de chaque groupe reliées en série constituent deux à deux les deux dites bornes de connexion, ces quatre extrémités libres étant aptes à être reliées au générateur commandable de courant électrique radio-fréquence de façon que, par rapport à
25 l'axe de l'aimant, le courant électrique circulant dans les demi-boucles de l'un des deux groupes soit de sens opposé à celui circulant dans les demi-boucles de l'autre groupe.

BREVE DESCRIPTION DES FIGURES

30 D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront au cours de la description suivante donnée en regard des dessins annexés à titre illustratif mais nullement limitatif, dans lesquels :

Les figures 1 et 2 représentent, sous forme schématique, un mode de réalisation d'un dispositif selon l'art antérieur qui est décrit sommairement ci-dessus,

Les figures 3, 4 et 5 représentent respectivement en perspective, en vue de dessus et en vue de face, un premier mode de réalisation du dispositif selon l'invention pour l'étude d'un matériau par RMN, la figure 4 comportant des éléments permettant d'expliciter le fonctionnement de ce dispositif,

5 La figure 6 représente un deuxième mode de réalisation du dispositif selon l'invention en accord avec la réalisation illustrée sur les figures 3 à 5, mais comportant un perfectionnement par rapport au premier mode illustré.

Les figures 7 et 8 représentent respectivement, dans une vue schématique en perspective éclatée, un troisième et un quatrième modes de réalisation du dispositif selon l'invention, et

10 La figure 9 représente le schéma électrique des deux modes de réalisation selon les figures 7 et 8.

Il est précisé que les figures 3 à 9 représentent quatre modes de réalisation du dispositif selon l'invention permettant d'évaluer la densité des protons présents dans un corps donné, avec la possibilité d'identifier le matériau entrant dans la constitution de ce corps auquel appartenaient les protons. Cependant, les mêmes références y désignent les mêmes éléments, quelle que soit la figure sur laquelle elles apparaissent et quelle que soit la forme de représentation de ces éléments. De même, si des éléments ne sont pas spécifiquement référencés sur l'une des figures, leurs références peuvent être aisément retrouvées en se reportant à une autre figure.

Il est aussi précisé que, lorsque, selon la définition de l'invention, l'objet de l'invention comporte "au moins un" élément ayant une fonction donnée, le mode de réalisation décrit peut comporter plusieurs de ces éléments.

25 De même, si le mode de réalisation de l'objet selon l'invention tel qu'illustré comporte plusieurs éléments de fonction identique et si, dans la description, il n'est pas spécifié que l'objet selon cette invention doit obligatoirement comporter un nombre particulier de ces éléments, l'objet de l'invention pourra être défini comme comportant "au moins un" de ces éléments.

30

DESCRIPTION DE MODES DE REALISATION PREFERES DE L'OBJET SELON L'INVENTION

La présente invention a pour objet un dispositif pour l'étude d'un matériau par le procédé de la RMN dont deux modes de réalisation sont représentés schématiquement sur les figures 3 à 6.

Selon l'invention, le dispositif comporte essentiellement un aimant permanent 21 apte à produire un champ magnétique statique B_0 et des moyens pour créer un champ magnétique B_1 radiofréquence ci-après désigné "champ magnétique RF" respectivement dans deux demi-espaces ayant chacun une zone commune 61, 62 avec l'aimant permanent, les lignes de force 64, 65 du champ magnétique RF B_1 dans les deux zones communes 61, 62 étant de sens opposés, figure 5.

De façon avantageuse, le dispositif selon l'invention comporte un aimant permanent 21 apte à produire un champ magnétique statique B_0 et ayant une forme sensiblement cylindrique présentant un plan de symétrie 60, et des moyens pour créer un champ magnétique RF B_1 respectivement dans les deux demi-espaces limités sensiblement par le plan de symétrie 60 et ayant chacun une zone commune 61, 62 avec l'aimant permanent, les lignes de force 64, 65 du champ magnétique RF B_1 dans les deux zones communes 61, 62 étant de sens opposés.

De façon préférentielle, le dispositif selon l'invention comporte un aimant permanent 21 apte à produire un champ magnétique statique B_0 , cet aimant permanent ayant une forme sensiblement cylindrique présentant un plan de symétrie 60 et une aimantation uniforme de direction Nord-Sud 22 sensiblement perpendiculaire à son axe 23, et des moyens pour créer un champ magnétique RF B_1 respectivement dans deux demi-espaces limités sensiblement par le plan de symétrie 60 ayant chacun une zone commune 61, 62 avec l'aimant permanent, les lignes de force 64, 65 du champ magnétique RF B_1 dans les deux zones communes 61, 62 étant de sens opposés et sensiblement perpendiculaires à la direction Nord-Sud 22.

Par référence aux figures 3 à 5, le dispositif selon l'invention comporte un aimant permanent 21 présentant une aimantation uniforme de direction Nord-Sud 22 pour produire, de façon connue en elle-même, une induction statique B_0 , et au moins une antenne 24 pour produire un champ magnétique RF B_1 . Cette antenne comporte deux bornes de connexion 25, 26 aptes à être reliées, de façon connue en elle-même de l'art antérieur, à des moyens d'alimentation, par exemple un générateur commandable de courant électrique radio-fréquence RF, et éventuellement à des moyens de réception, par exemple un récepteur apte à

analyser les signaux électriques délivrés par l'antenne à ces deux bornes de connexion. Ces moyens d'alimentation et de réception sont connus de l'art antérieur. Ils ne seront donc pas décrits ici et ils n'ont pas été illustrés dans l'unique souci de simplifier la présente description.

5 Selon une caractéristique essentielle de l'invention, l'antenne définie ci-dessus est constituée par au moins une boucle fermée 27 située dans un plan sensiblement parallèle à la direction Nord-Sud 22 et entourant l'aimant permanent 21, les deux bornes de connexion 25, 26 étant constituées par deux points 28, 29 de la boucle fermée 27 situés sur une droite 30 coupant sensiblement la boucle en
10 deux parties sensiblement égales.

Dans une réalisation préférentielle, l'aimant permanent 21 est de forme substantiellement cylindrique avantageusement de révolution. Dans ce cas, avantageusement, la direction Nord-Sud 22 est perpendiculaire à l'axe du cylindre et la boucle fermée 27 est sensiblement située dans un plan perpendiculaire à cet axe.

15 Il est avantageux que, pour obtenir une bonne homogénéité du champ magnétique RF B_1 généré par l'antenne 24, la droite 30 sur laquelle sont situés les deux points 28, 29 de la boucle fermée 27 coupe l'axe de révolution 23 de l'aimant permanent 21. Sur les figures, cette droite 30 est parallèle à la direction Nord-Sud 22 mais cette représentation n'est qu'un cas particulier.

20 En outre, comme il est dans la pratique très difficile d'obtenir des courants d'une valeur donnée et avantageusement égaux, il est préférable, comme illustré sur la figure 6, qu'au moins l'une 31 des deux branches 31, 32 de la boucle fermée 27 définies entre les deux bornes de connexion 25, 26 comporte une impédance électrique variable 33, par exemple une résistance de valeur ajustable comme un
25 potentiomètre ou analogue.

Comme illustré sur les figures 3 à 6, il est souvent avantageux, pour de nombreuses applications notamment dans le domaine pétrolier, que l'antenne 24 soit constituée d'une pluralité de boucles fermées 27 sensiblement situées dans des plans parallèles à la direction Nord-Sud 22 et sensiblement parallèles entre eux, les
30 boucles fermées entourant l'aimant permanent 21 de façon à former une seule bobine composite de relativement grande longueur pour produire un champ magnétique RF total B_1 dans un volume relativement important et long.

Dans ce cas, les deux bornes de connexion 25, 26 de la bobine 24 sont constituées par les premier et second points 28, 29 de chaque boucle fermée situés

sur la droite 30 telle que définie ci-avant, et par des moyens 40 pour relier électriquement entre eux, d'une part l'ensemble des premiers points 28 situés d'un côté de la boucle, et d'autre part l'ensemble des seconds points 29 situés de l'autre côté de la boucle. Ces moyens 40 sont par exemple constitués par des brins électriquement conducteurs.

Avantageusement, lorsque l'aimant permanent 21 est de forme cylindrique de révolution, l'ensemble des premiers points 28 situés d'un côté de la boucle et l'ensemble des seconds points 29 situés de l'autre côté de la boucle sont situés dans un plan passant par l'axe de révolution.

Il est aussi très avantageux, comme pour les modes de réalisation décrits ci-avant et pour les mêmes raisons, qu'au moins l'une 31 des deux branches 31, 32 d'au moins une boucle fermée 27 de la pluralité de boucles fermées définies entre les deux bornes de connexion 25, 26, comporte une impédance électrique variable 33. Il est bien évident qu'il sera avantageux qu'au moins l'une des branches de toutes les boucles fermées 27 comporte une telle impédance électrique variable 33.

D'une façon générale, les dispositifs décrits ci-dessus et illustrés sur les figures 3 à 6 fonctionnent et s'utilisent de la même façon que ceux de l'art antérieur aussi bien en émission qu'en réception. En conséquence, dans l'unique souci de simplifier la présente description, ni leur fonctionnement et ni leur mode d'utilisation ne seront décrits ici.

Il sera cependant souligné que les dispositifs selon l'invention présentent un avantage important par rapport à ceux de l'art antérieur.

En effet, comme représenté sur la figure 5, à l'intérieur de l'aimant permanent 21, sont induits, dans les deux zones communes 61, 62 définies ci-avant, deux champs magnétiques RF dont les lignes de force sont de sens opposés.

Dans ces conditions, les courants de Foucault créés par ces champs magnétiques RF sont théoriquement totalement négligeables, et le sont en pratique presque totalement.

Il ne se crée donc pas de charge parasite importante et les appareils de mesure utilisant le procédé de la RMN et comportant un dispositif selon l'invention ont donc une sensibilité plus grande que ceux de l'art antérieur.

Les réalisations décrites ci-dessus sont intéressantes et donnent de bons résultats, mais peuvent présenter des difficultés de mise en œuvre, notamment lors de l'ajustement des impédances comme explicité ci-avant.

Les deux modes de réalisation illustrés sur les figures 7 à 9 permettent de s'affranchir grandement de ces difficultés.

Les figures 7 et 8 représentent, dans une vue en perspective éclatée, deux autres modes de réalisation du dispositif selon l'invention, dans lesquels le dispositif
5 comporte un aimant permanent 21 de forme avantageuse sensiblement cylindrique d'axe 23, de préférence de révolution, qui possède une aimantation uniforme de direction Nord-Sud 22, comme représenté sur les figures 2 et 4, et au moins une antenne 24, cette antenne comportant deux bornes de connexion 25, 26 aptes à être reliées d'une part à un générateur commandable de courant électrique radio-
10 fréquence et d'autre part à un récepteur apte à analyser les signaux électriques délivrés par l'antenne à ces bornes de connexion.

L'antenne 24 comporte deux groupes 71, 72 d'une pluralité de demi-boucles 73, 74 toutes sensiblement identiques, par exemple réalisées avec des fils conducteurs électriques. Les demi-boucles de chaque groupe sont situées dans des
15 plans sensiblement parallèles entre eux, et les deux extrémités 75, 76 des demi-boucles d'un même groupe sont respectivement situées sur deux droites 77, 78 - 79, 80 sensiblement perpendiculaires à ces plans.

Les deux groupes de demi-boucles 71, 72 sont en outre montés en coopération avec l'aimant 21 de façon qu'ils soient situés de part et d'autre de
20 l'aimant en l'entourant au moins partiellement et que les deux droites 77, 78 - 79, 80 de chaque groupe soient situées de part et d'autre de l'aimant permanent, en étant sensiblement parallèles à l'axe 23 de l'aimant et à proximité l'une de l'autre deux par deux.

Le dispositif comporte en outre des conducteurs électriques 81, 82 pour relier
25 en série les demi-boucles de chaque groupe de façon que, pour chaque groupe, une extrémité d'une demi-boucle située sur l'une des deux droites soit directement reliée électriquement à l'extrémité d'une autre demi-boucle située sur l'autre droite, et que le courant parcoure les demi-boucles de ce groupe dans le même sens.

Les deux extrémités libres des demi-boucles de chaque groupe reliées en
30 série comme décrit ci-dessus constituent deux à deux les deux bornes de connexion 25, 26. Ces quatre extrémités libres sont reliées au générateur commandable de courant électrique radio-fréquence de façon que, par rapport à l'axe de l'aimant, le courant électrique circulant dans les demi-boucles de l'un des deux groupes soit de sens opposé à celui circulant dans les demi-boucles de l'autre groupe.

La figure 9 représente, dans une vue à plat, le schéma électrique des deux modes de réalisation selon les figures 7 et 8, avec les deux parties respectivement gauche et droite vues de part et d'autre de l'aimant 21. Dans l'unique but de la simplification des dessins, chaque groupe 71, 72 de demi-boucles ne comporte que deux demi-boucles, alors que, dans les réalisations illustrées sur les figures 7 et 8, chaque groupe en comporte quatre.

Il est cependant précisé que le nombre des demi-boucles pour chaque groupe est uniquement fonction de la précision souhaitée pour la mesure et de la hauteur de la zone annulaire voulue pour cette mesure. La détermination de ce nombre est du domaine de l'homme du métier et le nombre de demi-boucles représentées sur les figures 7 à 9 est totalement arbitraire.

Le schéma électrique représenté sur la figure 9 fait nettement apparaître que, dans les modes de réalisation selon les figures 7 et 8, les conducteurs électriques 81, 82 permettent de relier les demi-boucles de chaque groupe de façon qu'elles soient reliées en série, et non pas en parallèle comme dans les modes de réalisation selon les figures 3 à 6.

Sur cette figure 9, il est parfaitement visible que, pour le groupe de demi-boucles 71, l'extrémité aval 75' d'une demi-boucle est électriquement directement reliée à l'extrémité amont 76' de la demi-boucle suivante, et qu'il en est de même pour les extrémités aval 75" et amont 76" pour deux demi-boucles consécutives du groupe 72.

De ce fait, il est certain que les demi-boucles d'un même groupe 71, 72 sont parcourues par un courant de même intensité.

Il est donc possible d'obtenir la même impédance pour les deux groupes avec une seule impédance électrique variable comme celle illustrée schématiquement en 133 sur cette figure 9.

Dans une réalisation avantageuse, pour éviter des perturbations par des signaux parasites, ces conducteurs électriques 81, 82 sont constitués par des shunts électriques sensiblement en forme de "U" définis dans des plans, les plans de ces "U" étant tous, pour un même groupe, sensiblement confondus et sensiblement parallèles à l'axe 23 de l'aimant permanent 21.

Dans le même but que défini ci-dessus, la base 83, 84 des "U" est avantageusement située en dehors de l'espace 85 délimité entre les deux plans 86, 87 perpendiculaires à l'axe 23 de l'aimant 21 et passant respectivement par les deux

faces d'extrémités 88, 89 de l'aimant permanent 21.

En outre, dans une réalisation préférentielle pour obtenir un champ magnétique radiofréquence RF induit uniforme comme représenté sur les figures 7 et 8, les deux groupes 71, 72 définis ci-avant comportent le même nombre de demi-boucles et chaque demi-boucle d'un groupe est située dans le même plan perpendiculaire à l'axe 23 de l'aimant permanent 21 que chaque demi-boucle de l'autre groupe.

REVENDICATIONS

1. Dispositif pour l'étude d'un matériau par le procédé de la RMN, caractérisé par le fait qu'il comporte :

5 un aimant permanent (21) apte à produire un champ magnétique statique (B_0), et

des moyens pour créer un champ magnétique RF (B_1) respectivement dans deux demi-espaces ayant chacun une zone commune (61, 62) avec l'aimant permanent, les lignes de force (64, 65) du champ magnétique RF dans les deux
10 zones communes (61, 62) étant de sens opposés.

2. Dispositif pour l'étude d'un matériau par le procédé de la RMN, caractérisé par le fait qu'il comporte :

15 un aimant permanent (21) apte à produire un champ magnétique statique (B_0) et ayant une forme sensiblement cylindrique présentant un plan de symétrie (60), et

des moyens pour créer un champ magnétique RF (B_1) respectivement dans les deux demi-espaces limités sensiblement par ledit plan de symétrie (60) et ayant chacun une zone commune (61, 62) avec l'aimant permanent, les lignes de force (64, 65) du champ magnétique RF dans les deux zones communes (61, 62) étant de
20 sens opposés.

3. Dispositif pour l'étude d'un matériau par le procédé de la RMN, caractérisé par le fait qu'il comporte :

25 un aimant permanent (21) apte à produire un champ magnétique statique (B_0) et ayant une forme sensiblement cylindrique présentant un plan de symétrie (60) et une aimantation uniforme de direction Nord-Sud (22) sensiblement perpendiculaire à l'axe du cylindre (23), et

des moyens pour créer un champ magnétique RF (B_1) respectivement dans deux demi-espaces limités sensiblement par ledit plan de symétrie (60) et ayant
30 chacun une zone commune (61, 62) avec l'aimant permanent, les lignes de force (64, 65) du champ magnétique induit dans les deux zones communes (61, 62) étant de sens opposés et sensiblement perpendiculaires à la direction Nord-Sud (22).

4. Dispositif pour l'étude d'un matériau par le procédé de la RMN, comportant:

un aimant permanent (21) présentant une aimantation uniforme de direction Nord-Sud (22), et

au moins une antenne (24), cette antenne comportant deux bornes de connexion (25, 26) aptes à être reliées d'une part à un générateur commandable de courant électrique radio-fréquence et d'autre part à un récepteur apte à analyser les signaux électriques délivrés par l'antenne à ces bornes de connexion, caractérisé par le fait que ladite antenne est constituée par au moins une boucle fermée (27) située dans un plan sensiblement parallèle à la direction Nord-Sud, ladite boucle fermée entourant ledit aimant permanent (21), les deux bornes de connexion (25, 26) étant constituées par deux points (28, 29) de ladite boucle fermée (27) situés sur une droite (30) coupant la boucle en deux parties sensiblement égales.

5. Dispositif selon la revendication 4, caractérisé par le fait que ledit aimant permanent (21) est de forme substantiellement cylindrique de révolution.

6. Dispositif selon la revendication 5, caractérisé par le fait que la droite (30) sur laquelle sont situés les deux points (28, 29) de ladite boucle fermée (27) coupe l'axe de révolution (23) de l'aimant permanent (21).

7. Dispositif selon l'une des revendications 4 à 6, caractérisé par le fait qu'au moins l'une (31) des deux branches (31, 32) de la boucle fermée (27) définies entre les deux bornes de connexion (25, 26) comporte une impédance électrique variable (33).

8. Dispositif pour l'étude d'un matériau par le procédé de la RMN, comportant: un aimant permanent (21) présentant une aimantation uniforme de direction Nord-Sud (22), et

au moins une bobine magnétique (24), cette bobine comportant deux bornes de connexion (25, 26) aptes à être reliées d'une part à un générateur commandable de courant électrique radio-fréquence et d'autre part à un récepteur apte à analyser les signaux électriques délivrés par la bobine à ces bornes de connexion, caractérisé par le fait que ladite bobine magnétique (24) est constituée d'une pluralité de boucles fermées (27) sensiblement situées dans des plans parallèles à

la direction Nord-Sud et sensiblement parallèles entre eux, lesdites boucles fermées entourant ledit aimant permanent (21), les deux bornes de connexion (25, 26) de la bobine (24) étant constituées par les premier et second points (28, 29) de chaque boucle fermée (27) situés sur une droite (30) qui coupe la boucle en deux parties
5 sensiblement égales, et par des moyens (40) pour relier électriquement d'une part l'ensemble des premiers points (28) situés d'un côté des boucles et d'autre part l'ensemble des seconds points (29) situés de l'autre côté.

9. Dispositif selon la revendication 8, caractérisé par le fait que ledit aimant
10 permanent (21) est de forme cylindrique de révolution, et que l'ensemble des premiers points (28) situés d'un côté des boucles et l'ensemble des seconds points (29) situés de l'autre côté sont situés dans un plan passant par l'axe de révolution (23) de l'aimant permanent.

15 10. Dispositif selon l'une des revendications 8 et 9, caractérisé par le fait qu'au moins l'une (31) des deux branches (31, 32) d'au moins une boucle fermée (27) de ladite pluralité de boucles fermées définies entre les deux bornes de connexion (25, 26) comporte une impédance électrique variable (33).

20 11. Dispositif pour l'étude d'un matériau par le procédé de la RMN, comportant:

un aimant permanent (21) de forme sensiblement cylindrique présentant une aimantation uniforme de direction Nord-Sud (22), et

25 au moins une antenne (24), cette antenne comportant deux bornes de connexion (25, 26) aptes à être reliées d'une part à un générateur commandable de courant électrique radio-fréquence et d'autre part à un récepteur apte à analyser les signaux électriques délivrés par l'antenne à ces bornes de connexion, caractérisé par le fait que ladite antenne (24) comporte :

30 • deux groupes (71, 72) d'une pluralité de demi-boucles (73, 74) toutes sensiblement identiques, les demi-boucles de chaque groupe étant situées dans des plans sensiblement parallèles entre eux, les deux extrémités (75, 76) des demi-boucles d'un même groupe étant respectivement situées sur deux droites (77, 78 - 79, 80) sensiblement perpendiculaires aux dits plans, les deux groupes de demi-boucles (71, 72) étant montés en coopération avec ledit aimant (21) de façon qu'ils

soient situés de part et d'autre dudit aimant en l'entourant au moins partiellement et que les deux droites (77, 78 - 79, 80) de chaque groupe soient situées de part et d'autre dudit aimant en étant sensiblement parallèles à l'axe dudit aimant, et

• des conducteurs électriques (81, 82) pour relier en série les demi-boucles de chaque groupe de façon que, pour chaque groupe, une extrémité d'une demi-boucle située sur l'une des deux droites soit reliée électriquement à l'extrémité d'une autre demi-boucle située sur l'autre droite, et que les deux extrémités libres des demi-boucles de chaque groupe reliées en série constituent deux à deux les deux dites bornes de connexion (25, 26), ces quatre extrémités libres étant aptes à être reliées au générateur commandable de courant électrique radio-fréquence de façon que, par rapport à l'axe de l'aimant, le courant électrique circulant dans les demi-boucles de l'un des deux groupes soit de sens opposé à celui circulant dans les demi-boucles de l'autre groupe.

12. Dispositif selon la revendication 11, caractérisé par le fait que les conducteurs électriques (81, 82) pour relier en série les demi-boucles de chaque groupe de façon que, pour chaque groupe, une extrémité d'une demi-boucle située sur l'une des deux droites soit reliée électriquement à l'extrémité d'une autre demi-boucle située sur l'autre droite, sont constitués par des shunts sensiblement en forme de "U" définis dans des plans, les plans des dits "U" étant tous, pour un même groupe, sensiblement confondus et sensiblement parallèles à l'axe (23) dudit aimant permanent (21).

13. Dispositif selon la revendication 12, caractérisé par le fait que la base (83, 84) des dits "U" est située en dehors dudit espace (85) délimité entre les deux plans (86, 87) perpendiculaires à l'axe (23) de l'aimant (21) et passant respectivement par les deux faces d'extrémités (88, 89) dudit aimant permanent (21).

14. Dispositif selon l'une des revendications 11 à 13, caractérisé par le fait que les deux groupes comportent le même nombre de demi-boucles.

15. Dispositif selon la revendication 14, caractérisé par le fait que chaque demi-boucle d'un groupe est située dans le même plan que chaque demi-boucle de l'autre groupe.

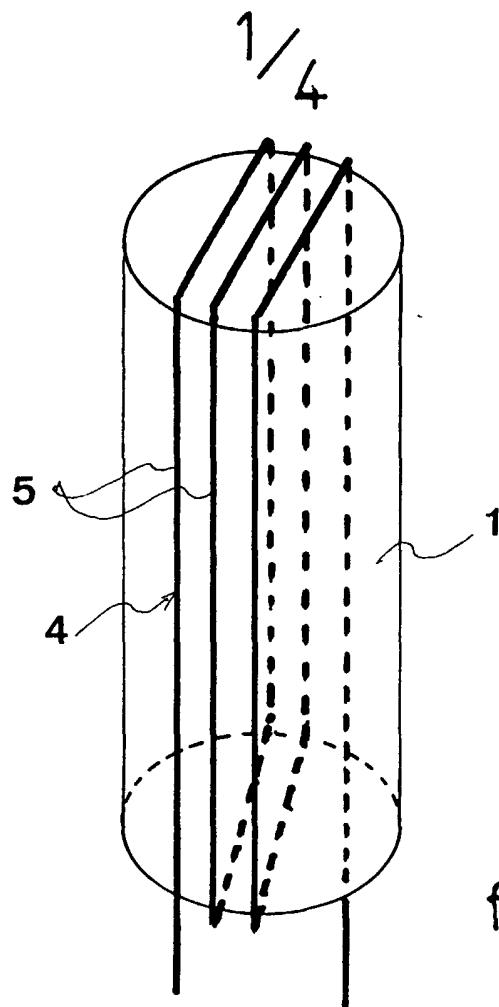


fig. 1

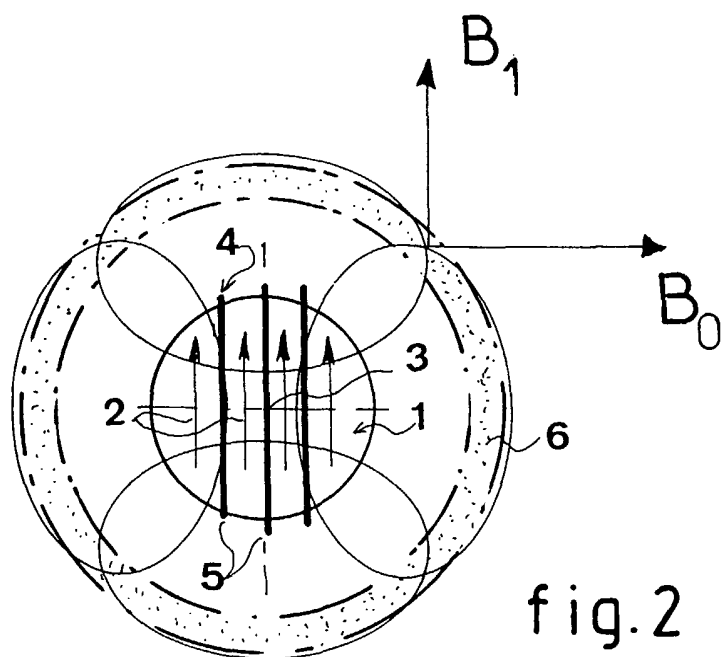
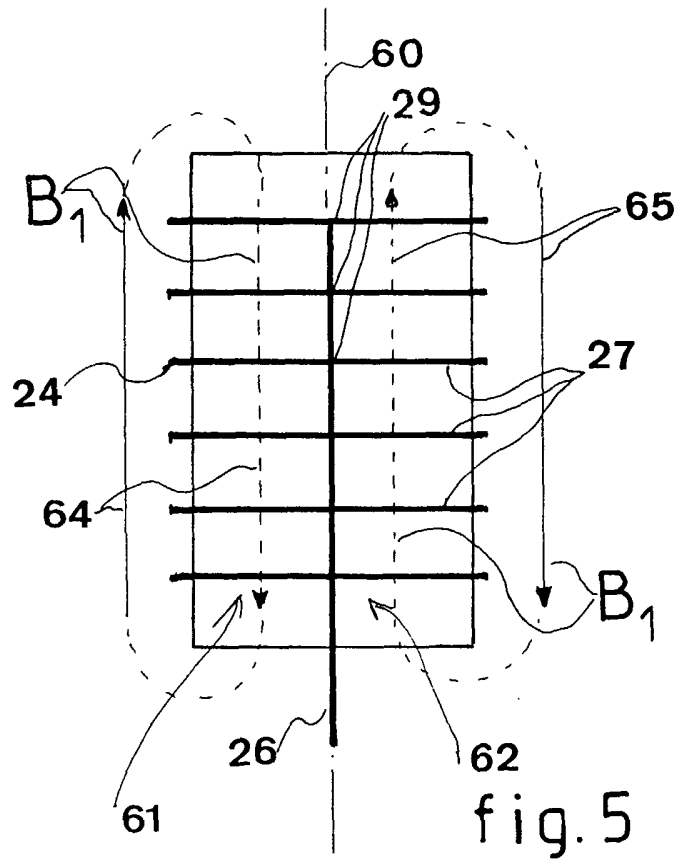
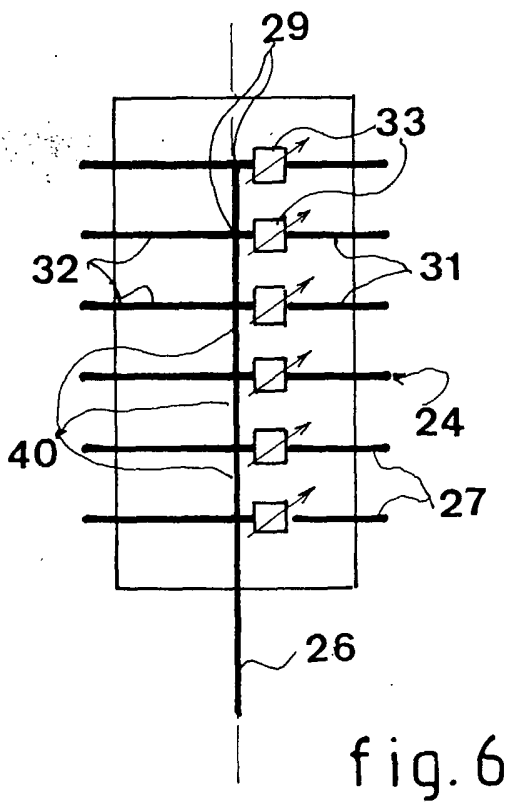
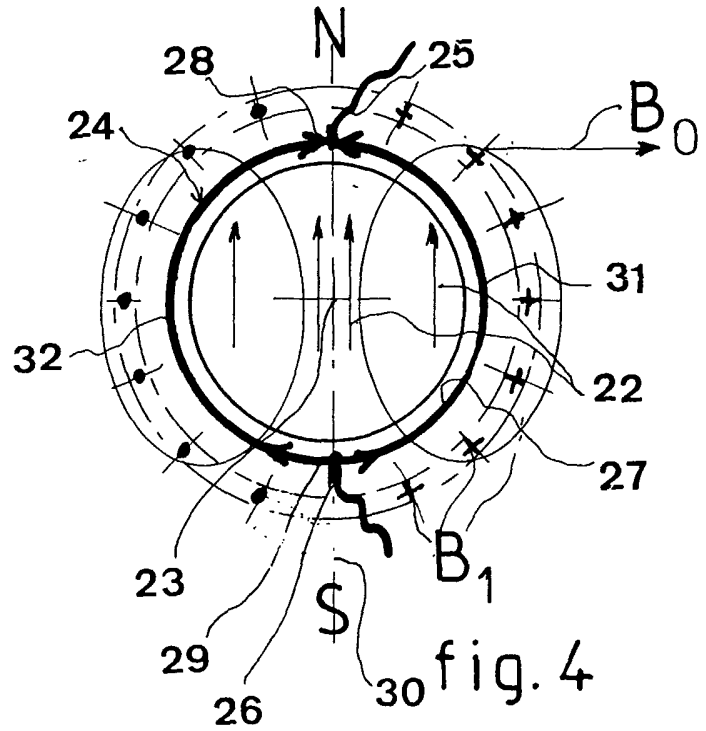
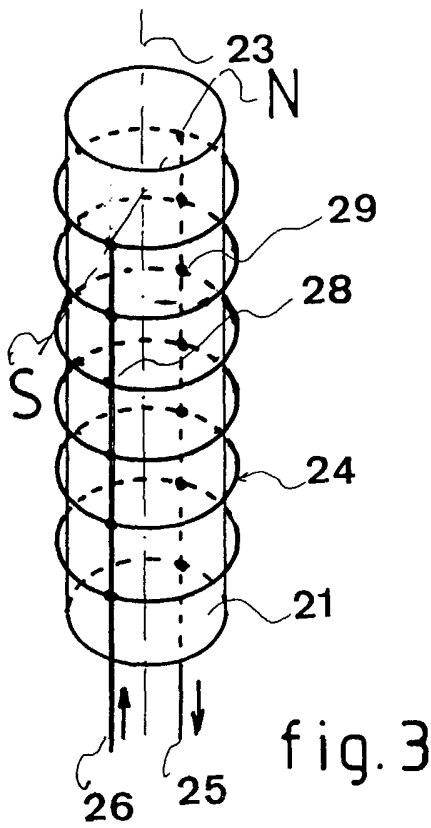


fig. 2

2/4



3/4

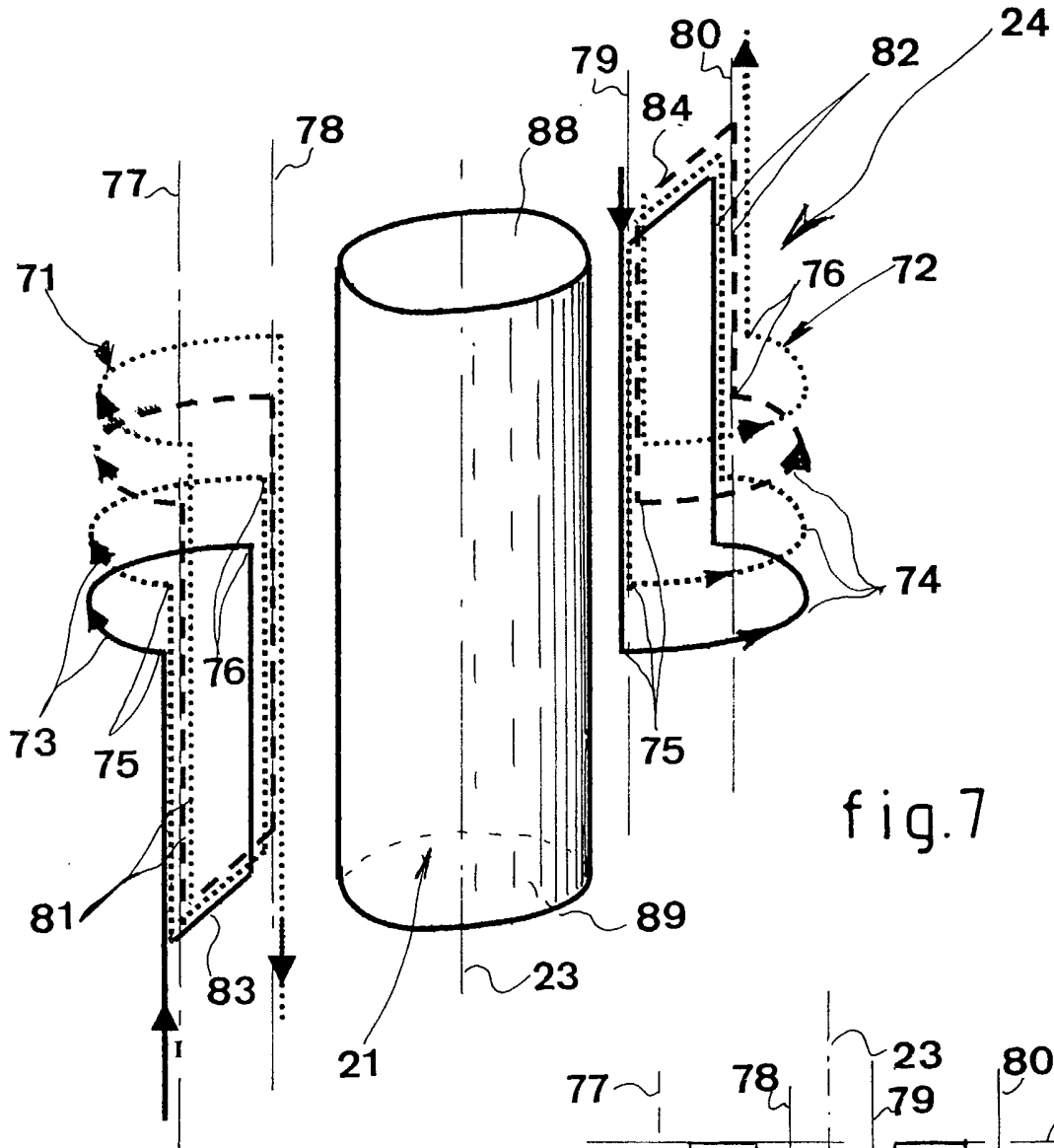


fig.7

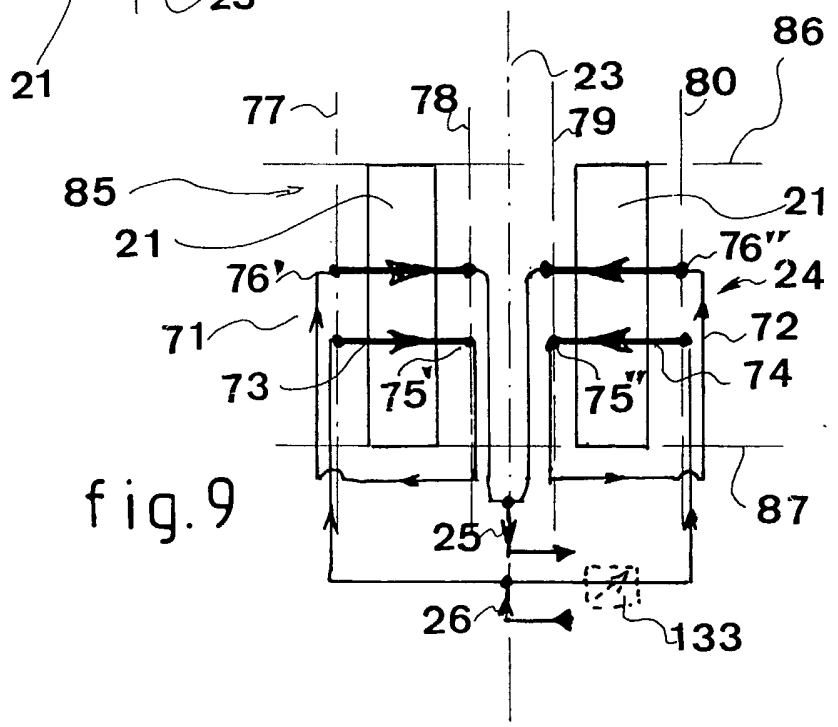


fig.9

4/4

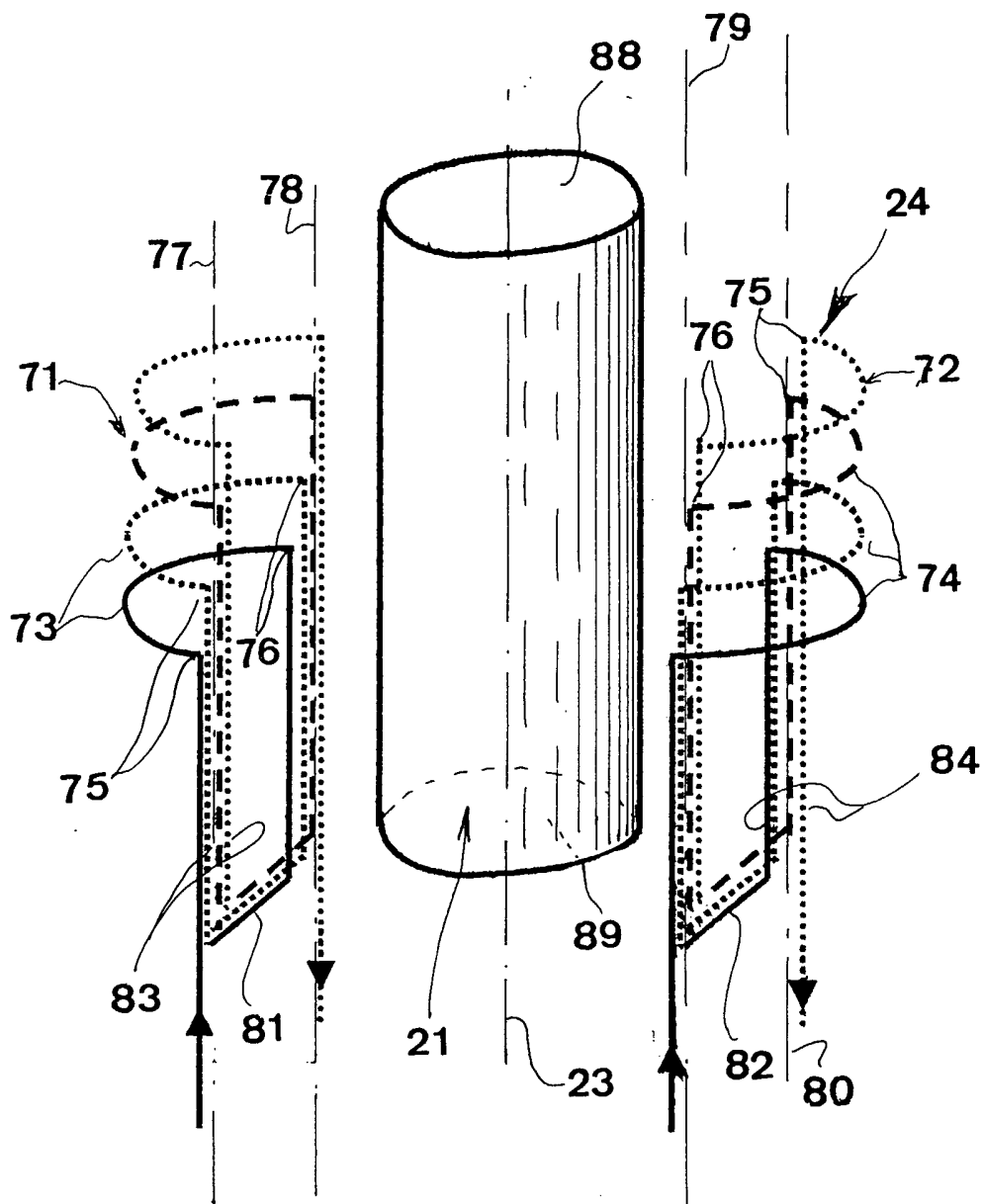


fig. 8