



(51) Classification internationale des brevets :
G01R 33/34 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2017/061228

(22) Date de dépôt international :
10 mai 2017 (10.05.2017)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
1654152 10 mai 2016 (10.05.2016) FR

(71) Déposants : CENTRE NATIONAL DE LA RE-
CHERCHE SCIENTIFIQUE [FR/FR] ; 3 rue Michel
Ange, 75794 PARIS CEDEX 16 (FR). UNIVERSITE DE
MONTPELLIER [FR/FR] ; 163 rue Auguste Broussonnet,
34090 MONTPELLIER (FR). RS2D [FR/FR] ; 13, rue Vau-

ban, 67450 MUNDOLSHEIM (FR). CENTRE HOSPI-
TALIER ET UNIVERSITAIRE DE MONTPELLIER
[FR/FR] ; 191, avenue du Doyen Giraud, 34295 MONT-
PELLIER CEDEX (FR). SATT AXLR [FR/FR] ; 950, rue
Saint-Priest - CSU Bâtiment 6, MONTPELLIER, 34090
(FR).

(72) Inventeurs : AKEL, Mohamed ; Ein Al Bayda Street,
EL MINIEH NORTH (LB). ALIBERT, Eric ; 3, Place
de l'Olivette Chemin des Courrèges, 34270 LES MATEL-
LES (FR). COILLOT, Christophe ; 230, rue du Stade,
34830 CLAPIERS (FR). GOZE-BAC, Christophe ; 2, rue
Cormier des Oiseaux, 34660 COURNONTERRAL (FR).
MULLER, Julien ; 7b, rue du Village, 67170 DONNE-
HEIM (FR). NATIVEL, Eric ; 25, rue des Coquelicots,
34660 COURNONTERRAL (FR). SCHIMPF, Rémy ; 47,
rue Hannong, 67500 HAGUENAU (FR). ZANCA, Michel
; Mas d'Alaux 907, Route de Saint paul, 34570 MURVIEL-

(54) Title: WIRE STUB ANTENNA FOR USE IN MAGNETIC RESONANCE IMAGING AND SPECTROSCOPY

(54) Titre : ANTENNE FILAIRE COURTE POUR UTILISATION EN SPECTROSCOPIE ET IMAGERIE PAR RESONANCE MAGNETIQUE NUCLEAIRE

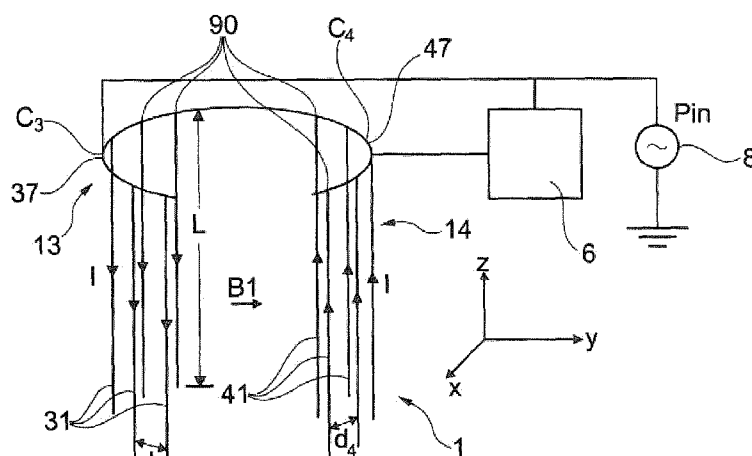


Fig. 1

(57) Abstract: The invention relates to a wire stub antenna (13; 14) for transmitting a sequence of radio-frequency (RF) magnetic field pulses as part of a nuclear magnetic resonance (NMR) spectroscopy and/or imaging method, said wire stub antenna comprising a plurality of strands (31; 41) extending at least partially in a direction Z in an orthogonal reference system having an axis z defined by direction Z, said strands being disposed such that the currents passing through the strands (31; 41) of each antenna (13; 14) have the same intensity at the same position along axis z.

(57) Abrégé : Antenne filaire courte (13; 14) pour l'émission d'une séquence d'impulsions de champ magnétique radiofréquence (RF) dans un procédé d'imagerie et/ou de spectroscopie par résonance magnétique nucléaire (RMN), l'antenne filaire courte comportant une pluralité de brins (31; 41) s'étendant au moins partiellement selon une direction Z, dans un repère orthogonal ayant un axe z défini par la direction Z, les brins étant disposés de telle manière à ce que les courants parcourant les brins (31; 41) de chaque antenne (13; 14) présentent une même intensité à une même position selon l'axe z.

LES-MONTPELLIER (FR). DE PELLEGARS, Pauline ;
21 rue Mareschal, 34000 MONTPELLIER (FR).

(74) **Mandataire : CABINET NONY** ; 11 rue Saint-Georges,
75009 PARIS (FR).

(81) **États désignés** (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible*) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, 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, SA, 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, ST, 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, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée:

- avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))
- avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues (règle 48.2(h))

ANTENNE FILAIRE COURTE POUR UTILISATION EN SPECTROSCOPIE ET
IMAGERIE PAR RESONANCE MAGNETIQUE NUCLEAIRE

La présente invention concerne les antennes filaires courtes multibrins et leurs utilisations en champ proche dans des procédés d'imagerie et/ou de spectrométrie par résonance magnétique nucléaire (RMN).

Le phénomène de RMN, qui est révélé dès lors qu'un moment magnétique nucléaire est placé dans un champ magnétique (B_0), s'est imposé dès sa découverte comme un moyen d'investigation par spectroscopie incontournable en chimie et en physique.

L'adjonction de bobines de gradient de champ magnétique a permis la localisation du signal de RMN et a marqué l'avènement de l'imagerie par RMN. Les bobines de gradient modifient le champ magnétique local permettant, *in fine*, de réaliser des images par résonance magnétique nucléaire (IRM). Dans un champ magnétique homogène B_0 , les spins de l'échantillon observé précessent à la fréquence de Larmor (ω_0) selon $\omega_0 = \gamma B_0$. Si l'on superpose au champ principal B_0 celui généré par les bobines de gradient:

$$\vec{B}_g(x, y, z) = \left(\frac{\partial B_g}{\partial x} x + \frac{\partial B_g}{\partial y} y + \frac{\partial B_g}{\partial z} z \right) \vec{z},$$

l'expression du champ résultant montre que la fréquence de précession des spins dépend de leur position :

$$\omega_0 + \delta\omega(x, y, z) = \gamma \left(B_0 + \frac{\partial B_g}{\partial x} x + \frac{\partial B_g}{\partial y} y + \frac{\partial B_g}{\partial z} z \right).$$

Ainsi, le champ magnétique créé par les bobines de gradient permet notamment de sélectionner un plan de coupe (transversal, frontal, sagittal ou oblique) et de déterminer la localisation spatiale des signaux dans ce plan.

Cependant, l'utilisation de bobines de gradient conduit à des systèmes complexes et volumineux présentant de nombreux inconvénients : coût, consommation électrique élevée, bruit, et justifient l'intérêt pour une localisation du signal de RMN sans gradient, comme illustré dans la publication de Sharp et al. : « *MRI using radiofrequency magnetic field phase gradients* ». En outre, on voit poindre un intérêt grandissant pour des équipements d'IRM portables pour lesquels l'intégration de bobines de gradient représente une difficulté majeure.

La détection du signal de RMN a été historiquement réalisée grâce au phénomène physique de l'induction électrique au moyen d'une antenne réceptrice comportant une ou plusieurs bobines accordées à la fréquence du noyau à mesurer dans le champ magnétique B_0 et adaptées à l'impédance standard de 50 Ohms, comme le montre
5 par exemple la publication « *The nuclear induction experiment* » de Bloch F. et al. Ce mode de détection reste la règle.

Une grande variété de bobines a été mise au point et a été utilisée pour l'observation du signal de RMN: bobine de Helmholtz, bobine selle, bobine en forme de cage d'oiseau ou encore bobine millipède, comme illustré dans l'ouvrage « *NMR
10 Probehead: for biophysical and biological experiments* », Ed. Imperial College, (2006) de Mispelter, Lupu & Briguet. Toutes ces bobines appartiennent à la catégorie des antennes à détection inductive dont le principe de mesure repose principalement sur l'apparition d'une tension proportionnelle à la composante magnétique du rayonnement électromagnétique, à la différence des antennes filaires dont le principe de mesure tient essentiellement à
15 l'apparition d'un courant électrique dépendant de la composante électrique du rayonnement électromagnétique.

Afin de pouvoir réaliser des expériences de RMN, outre le champ magnétique statique principal B_0 puissant et stable produit souvent par un aimant supraconducteur qui crée des alignements des moments magnétiques de spin au champ B_0 , un champ
20 magnétique oscillant B_1 plus faible, dans le domaine des radiofréquences (RF), est nécessaire. Ce champ oscillant B_1 est sous forme d'une séquence d'impulsions RF et est traditionnellement réalisé au moyen de bobines émettrices et appliqué de façon à légèrement modifier l'alignement des moments magnétiques (spins) et produire un phénomène de précession des aimantations nucléaires qui demeurent en phase dans le plan
25 transverse à B_0 qui s'accompagne d'un champ électromagnétique mesurable.

Il est nécessaire d'accorder la fréquence de fonctionnement des bobines émettrices à la fréquence des noyaux à imager et d'adapter leur impédance (à la fréquence de fonctionnement envisagée) à l'impédance d'entrée de l'amplificateur de puissance (standard de 50 Ohms), de façon à optimiser le transfert de puissance. Ainsi, l'application
30 du champ B_1 pendant une durée τ , va faire basculer l'aimantation vers le plan de la détection d'un angle :

$$\theta_1 = \gamma B_1 \tau \quad \text{éq. (1)}$$

En pratique, les séquences IRM utilisent soit des combinaisons d'impulsions RF ($\pi/2+\pi$), connues sous le nom de séquence d'écho de spin, pour compenser les inhomogénéités du champ statique B_0 , soit une simple bascule d'un angle donné θ_1 , séquence connue sous le nom d'écho de gradient. L'application des impulsions radiofréquences en relation avec celles des gradients du champ magnétique permet la localisation spatiale du signal.

Lorsque les bobines ne sont utilisées qu'en réception, l'adaptation d'impédance est moins contraignante et le simple accord de la fréquence de fonctionnement peut suffire. De nombreuses configurations de circuit électronique d'accord-adaptation peuvent être utilisées pour les bobines, comme illustré dans la publication de Mispelter, Lupu&Briguet susmentionnée, ou encore dans la publication « *Tunable electrically small Antennas* » de John A.M. Lyon, Alan G-T Chaet Mohamed A. Hidayet.

On cherche généralement à obtenir un signal homogène, c'est-à-dire un champ B_1 monodirectionnel et d'amplitude constante sur le plus grand volume possible, ce qui nécessite des conformations de bobines spécifiques, par exemple bobine solénoïde, bobine de Helmholtz, bobine selle, etc. dont le dimensionnement est alors contraint par le respect de règles géométriques. Par exemple, dans le cas des bobines de Helmholtz, la distance entre les deux spires doit être égale à leur rayon. Il existe également des contraintes sur les longueurs des fils, lesquelles sont typiquement inférieures à $\lambda/10$, où λ est la longueur d'onde dans le vide associé au champ RF utilisé, d'après la publication de Mispelter, Lupu & Briguet.

L'homogénéité du signal est alors la résultante de l'homogénéité à l'émission, avec un angle de bascule qui dépend de la localisation du spin: $\theta_1(x, y, z) = \gamma B_1(x, y, z)\tau$ et de la détection qui est proportionnelle au facteur $B_1(x, y, z)/I$.

Au final, le signal de RMN (e) fourni par une antenne inductive subit cette double dépendance sous la forme :

$$e \propto \theta_1(x, y, z) \sin[\theta_1(x, y, z)] \quad \text{éq. (2)}$$

C'est la raison qui amène à concevoir des bobines pour lesquelles le volume d'intérêt présente la meilleure homogénéité possible de $\vec{B}_1(x, y, z)$ en termes de direction et d'amplitude. Ceci est souvent réalisé par des configurations appropriées de répartition de fils conducteurs et de déphasage des courants parcourant les fils.

Un exemple connu est celui de la bobine dite en cage d'oiseau ou «*birdcage*» divulguée par Hayes et al. dans l'article «*An Efficient, Highly Homogeneous Radio frequency Coil for Whole-Body NMR Imaging at 1.5T*» ou l'article «*End Cap Design for Bird Cage Coils in Nuclear Magnetic Resonance Imaging*». Dans une bobine «*birdcage*», une pluralité de N fils conducteurs, disposés de manière uniforme entre deux anneaux conducteurs et présentant chacun une capacité, va produire un déphasage $\delta\varphi$ du courant au sein de chaque conducteur à une pulsation ω donnée, où $\omega=2\pi/f$, f étant la fréquence du courant d'alimentation de la bobine. Le déphasage total est un multiple M de 2π , soit $N \times \delta\varphi = M2\pi$, afin de favoriser une répartition sinusoïdale du courant entre les N fils, condition connue pour l'obtention de l'homogénéité du champ magnétique généré. Ainsi la bobine «*birdcage*» permet de créer un champ magnétique oscillant RF B_1 qui est sensiblement homogène dans le volume cylindrique à l'intérieur de la bobine.

Une autre configuration est divulguée par Bolinger et al. dans «*A Multiple-Frequency Coil with a Highly Uniform B_1 Field*», qui divulgue une bobine dans laquelle le déphasage temporel des courants est remplacé par une répartition non uniforme des conducteurs. Les courants ont même valeur dans tous les fils. Les fils conducteurs sont disposés autour d'un cylindre, de manière à favoriser une distribution de la densité de courant définie par l'équation
$$\vec{J}(\theta) = \frac{2rB_1}{\mu_0} \cos(\theta) \vec{k}$$
 où θ est l'angle azimutal cylindrique du fil.

Le brevet US 5270656 décrit un système bi-planaire comportant des bobines se situant dans deux plans parallèles pour créer un champ RF homogène dans un volume entre ces plans.

La demande US 2014/218025 décrit une bobine «*birdcage*» sans préciser la méthode de répartition de brins.

La demande EP 0758092 divulgue une variante de bobine de type «*birdcage*» comportant des conducteurs formant des boucles et répartis équi-angulairement sur la circonférence d'un cercle.

Les brevets FR 2411478 et US 4899108 divulguent également des bobines prévues pour créer un champ magnétique homogène.

Par ailleurs, on voit aussi émerger de nouveaux modes de détection comme celui qu'offrent les antennes filaires. A la différence des bobines inductives qui sont des

circuits électriques fermés et qui correspondent à la solution conventionnelle pour mesurer le signal RMN, les antennes filaires sont des circuits ouverts.

Ces antennes filaires sont accordées en fréquence et adaptées en impédance par conception, par utilisation d'une longueur caractéristique $\lambda/4$ sur substrat diélectrique, comme expliqué dans la publication de Raaijmakers AJ et al. : « *Design of a Radiative Surface Coil Array Element at 7 T: The Single-Side Adapted Dipole Antenna* ». Les antennes filaires peuvent être combinées pour constituer un réseau d'antennes afin de couvrir une région de l'espace donnée et ainsi produire une image.

Elles peuvent être utilisées en champ lointain en modulant l'épaisseur du substrat diélectrique, mais aussi en champ proche comme décrit dans les publications d'O. Ocali et E. Atalar: « *Intravascular magnetic resonance imaging using a loopless catheter antenna* » ou de Halidi et al.: « *Evanescent Waves Nuclear Magnetic Resonance* ».

Le brevet US 6771070 divulgue un système d'antennes utilisé en détection de signaux électromagnétiques. Le système comporte des brins conducteurs disposés en parallèle, chacun étant connecté à une chaîne de réception. Les brins sont accordés à la fréquence du signal à détecter et d'une longueur égale à un multiple entier de $\lambda/4$ où λ est la longueur d'onde du signal à détecter.

L'article « *New design concept of monopole antenna array for UHF 7T MRI* » de Suk-Min Hong et al. décrit un réseau d'antennes monopoles quart-onde ($\lambda/4$) accordées, ces antennes étant distribuées de manière homogène sur la circonférence d'un cercle.

L'article « *The fractional dipole antenna: A new antenna for body imaging at 76 Tesla* » de Alexander J. Raaijmakers et al. divulgue des antennes dipôles demi-onde ($\lambda/2$) accordées réparties équiangulairement sur la circonférence d'un cercle.

Dans le cas d'antennes filaires courtes, monopole ou dipôle de longueur $L \ll \lambda$, par exemple L inférieure à $\lambda/10$, le milieu de propagation étant le vide, l'accord en fréquence et l'adaptation d'impédance peuvent être obtenus au moyen d'un circuit d'accord-adaptation comme illustré dans la publication précitée de John A.M. Lyon, Alan G-T Cha and Mohamed A. Hidayet.

Un inconvénient majeur de l'utilisation d'antennes monopoles courtes pour détecter un signal de RMN est un champ de vue réduit aux spins les plus proches du brin formant l'antenne. Pour pallier cet inconvénient, plusieurs antennes filaires utilisées en

champ lointain peuvent être associées en réseau pour couvrir une région de l'espace, surfacique ou volumique, comme expliqué dans la publication de Raaijmakers AJ et al. Cette solution nécessite cependant une instrumentation conséquente puisqu'à chaque antenne filaire est associé un canal d'émission réception.

5 Dans le cas des antennes filaires courtes, il existe une dépendance de l'intensité du signal à la position de l'objet émetteur par rapport à la hauteur du brin. Par « courte », il faut comprendre une longueur d'antenne L qui satisfait au critère suivant : $L < \lambda/10$.

Dans le cas d'antennes filaires courtes, l'intensité du courant induit le long de l'antenne est connue pour être linéairement reliée à la position des spins par rapport au
10 brin, comme expliqué dans l'article « Antenna Fundamentals » des cours de National Radio Astronomy Observatory disponibles sur le site:

<http://www.cv.nrao.edu/course/ast534/AntennaTheory.html>.

Pour une antenne monopole de longueur L , cette dépendance s'exprime ainsi sous la forme:

$$15 \quad I(z) = I_0 \left(1 - \frac{z}{L}\right) \quad \text{éq. (3.a)}$$

Pour une antenne dipôle de longueur L , cette dépendance devient :

$$I(z) = I_0 \left(1 - \frac{|z|}{L/2}\right) \quad \text{éq. (3.b)}$$

où I_0 est le courant d'alimentation quand l'antenne est utilisée en émission et de sortie quand l'antenne est utilisée en réception, z étant la position sur le brin.

20 Par rapport aux habitudes de conception des dispositifs de détection en RMN ou en IRM, cette dépendance peut être interprétée comme un inconvénient, par exemple comme expliqué dans la publication de Mispelter, Lupu & Briguet, ce qui a amené à utiliser les antennes filaires de type dipôle de manière préférentielle en champ lointain selon la publication de Raaijmakers AJ et al.

25 L'IRM est restée, compte-tenu de sa complexité, de son encombrement et de son coût, l'apanage des applications à la santé. Pourtant, dans des domaines tels que l'agronomie, où il est essentiel de mesurer la quantité d'eau dans les plantes, son utilisation semble pertinente et présenterait en tout cas une alternative aux méthodes invasives qui sont de mise. Cependant, pour être pertinente, il faudrait que la technique soit transportable
30 afin de permettre de réaliser des mesures in situ. La simplification du hardware de la

spectroscopie par RMN et/ou de l'IRM présente donc un intérêt certain vis-à-vis de ce type d'application.

L'invention cherche ainsi à améliorer encore les procédés d'imagerie par résonance magnétique nucléaire, afin de remédier aux inconvénients mentionnés ci-dessus.

5 L'invention a pour premier objet une antenne filaire courte pour l'émission d'une séquence d'impulsions de champ magnétique radiofréquence (RF) dans un procédé d'imagerie et/ou de spectroscopie par résonance magnétique nucléaire (RMN), l'antenne filaire courte comportant une pluralité de brins s'étendant au moins partiellement selon une direction Z, dans un repère orthogonal ayant un axe z défini par la direction Z, les brins
10 étant disposés de telle manière à ce que les courants parcourant les brins de chaque antenne présentent une même intensité à une même position selon l'axe z.

Par rapport aux antennes monopôles quart-onde ou dipôle demi-onde accordées, l'utilisation d'antennes filaires courtes permet d'exploiter un gradient linéaire.

La ou les antennes sont de préférence utilisées en champ proche.

15 L'antenne filaire courte selon l'invention est une antenne dont la longueur L est inférieure à $\lambda/10$, λ étant de préférence la longueur d'onde du rayonnement RF émis dans le cadre des procédés IRM ou de spectroscopie par RMN. En général, la longueur d'onde des rayonnements radiofréquence utilisés en RMN, destinés à l'excitation des protons, notamment H^+ , est de l'ordre du mètre, par exemple respectivement de 1,5m et 75cm pour
20 les H^+ dans des champs respectifs de 4,7T et de 9,4T, correspondants à des fréquences respectivement de 200 et 400 MHz.

Par « brin s'étendant au moins partiellement selon la direction Z », il faut comprendre que le brin s'étend selon une direction ayant au moins une composante non nulle parallèle à la direction Z sur au moins une partie de sa longueur.

25 Par exemple, les brins comportent une portion qui s'étend parallèlement à la direction Z ou les brins s'étendent parallèlement à la direction Z. Dans une variante, les brins présentent chacun une portion courbe formant un méridien dans la direction Z.

Chaque brin comporte par exemple un conducteur unique faisant office d'antenne filaire courte monopole ou dipôle.

30 Les brins de l'antenne peuvent délimiter un volume de mesure, par exemple sensiblement cylindrique, et de préférence ayant au moins une ouverture selon la direction Z. Une région d'un objet à examiner est présente dans le volume de mesure.

L'antenne est alimentée par au moins une source de courant et/ou de tension pour l'émission de la séquence d'impulsions de champ RF.

Les brins peuvent avoir une même longueur (L), ce qui permet d'assurer au mieux l'homogénéité du champ RF créé.

5 Chaque brin peut comporter un fil métallique ou une bande de cuivre.

De préférence, la répartition des brins autour de l'axe z et les phases des courants les parcourant sont telles que l'antenne crée un champ magnétique oscillant RF homogène dans chacun des plans x-y perpendiculaires à l'axe z, notamment dans le volume de mesure. Le champ magnétique oscillant RF correspond, lorsque l'antenne est alimentée, aux impulsions de champ magnétique RF émises. Par « un champ magnétique homogène dans un plan x-y », il faut comprendre que, dans au moins une région dudit plan, la variation de l'amplitude du champ magnétique par rapport à sa valeur maximale est inférieure à 10%.

15 Une telle configuration repose par exemple sur l'annulation des harmoniques de la décomposition en série de Fourier (DSF) associée à la distribution des conducteurs électriques du bobinage. Cette configuration est préférable pour l'homogénéité du champ magnétique produit ou induit par les bobines en général et, la présente invention, en particulier.

Dans la méthode DSF, pour N ensembles de fils conducteurs répartis sur la circonférence d'un cercle, où chaque ensemble comporte par exemple quatre fils conducteurs et un fil conducteur correspond à un brin de l'antenne multibrin défini plus haut, et où chacun des fils conducteurs est parcouru par un courant I ou -I, les courants parcourant les fils conducteurs disposés sur le demi-cercle compris entre $\theta = -\pi/2$ et $\theta = \pi/2$ en passant par $\theta = 0$ étant de préférence dans un même sens et ce dernier étant contraire au sens dans lequel les courants parcourent les fils conducteurs disposés sur le demi-cercle compris entre $\theta = -\pi/2$ et $\theta = \pi/2$ en passant par $\theta = \pi$, l'expression de la DSF de la densité de courant normalisée $j(\theta)$ équivalente aux N ensembles de fils conducteurs est

$$j(\theta)_{even} = \sum_{k=1}^{\infty} ((\sum_{n=1}^N \frac{4}{\pi} \cos((2k+1)\theta_n)) \times \cos((2k+1)\theta)) \quad (\text{éq.4})$$

où θ est l'angle azimutal sur le cercle et θ_n sont les N angles définissant la position de chacun des N ensembles de fils conducteurs, les quatre fils conducteurs de chaque ensemble étant disposés en θ_n , $-\theta_n$, $\pi - \theta_n$ et $-\pi + \theta_n$.

Afin de se rapprocher d'une distribution idéale cosinusoidale, il faut que les angles θ_n annulent les N premiers harmoniques, ce qui revient à déterminer les solutions θ_n du système d'équations suivant :

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{n=1}^N (\cos(3\theta_n)) = 0 \quad (k = 1) \\ \dots \\ \sum_{n=1}^N (\cos((2j + 1)\theta_n)) = 0 \quad (k = j) \\ \dots \\ \sum_{n=1}^N (\cos((2N + 1)\theta_n)) = 0 \quad (k = N) \end{array} \right. \quad (\text{éq.5})$$

5 Ainsi l'antenne, selon l'invention, peut comporter N ensembles de brins où N est un nombre entier supérieur à 1, la position des brins étant définie par les angles θ_n solutions du système (éq.5).

Dans le cas où l'antenne comporte par exemple N ensembles de quatre fils conducteurs en plus d'une paire de deux fils conducteurs centraux, i.e. en $\theta = 0$ et π , et où
 10 chacun des fils conducteurs est parcouru par un courant I ou -I, les courants parcourant les fils conducteurs disposés sur le demi-cercle compris entre $\theta = -\pi/2$ et $\theta = \pi/2$ en passant par $\theta = 0$ étant de préférence dans un même sens et ce dernier étant contraire au sens dans lequel les courants parcourent les fils conducteurs disposés sur le demi-cercle compris entre $\theta = -\pi/2$ et $\theta = \pi/2$ en passant par $\theta = \pi$, l'expression de la DSF de la densité de courant
 15 normalisée $j(\theta)$ équivalente aux N ensembles de fils conducteurs en plus de la paire de fils conducteurs centraux en $\theta = 0$ et π devient

$$j(\theta)_{odd} = \sum_{k=1}^{\infty} ((\sum_{n=1}^N \frac{2}{\pi} (1 + 2\cos((2k + 1)\theta_n))) \times \cos((2k + 1)\theta)) \quad (\text{éq.6})$$

où θ est l'angle azimutal sur le cercle et θ_n sont les N angles définissant la position de chacun des N ensembles de fils conducteurs, les quatre fils conducteurs de chaque
 20 ensemble étant disposés en θ_n , $-\theta_n$, $\pi - \theta_n$ et $-\pi + \theta_n$.

La détermination des θ_n du système permet de se rapprocher d'une distribution idéale cosinusoidale revient à résoudre le système d'équations suivant :

$$\begin{cases} 1 + \sum_{n=1}^N (\cos(3\theta_n)) = 0 & (k = 1) \\ \dots \\ 1 + \sum_{n=1}^N (\cos((2j+1)\theta_n)) = 0 & (k = j) \\ \dots \\ 1 + \sum_{n=1}^N (\cos((2N+1)\theta_n)) = 0 & (k = N) \end{cases} \quad (\text{éq.7})$$

Ainsi, dans cette variante, l'antenne comporte un brin central et N ensembles de fils conducteurs où N est un nombre entier supérieur à 1, la position des brins étant définie par les angles θ_n solutions du système (éq.7).

5 A titre illustratif, on peut considérer le cas à un ensemble de fils conducteurs : N=1. Le système d'équations se réduit alors à: $\cos(3\theta_1) = 0$, dont la solution est $\theta_1 = \pi/6$. Ainsi, l'ensemble comporte quatre fils conducteurs disposés en θ_1 , $-\theta_1$, $\pi-\theta_1$ et $-\pi+\theta_1$. Dans ce cas précis, l'homogénéité du champ magnétique généré (B_1) à 10% de la valeur maximale est d'environ 60 % sur le diamètre.

10 Pour N=2, le système d'équations devient $\begin{cases} \cos(3\theta_1) + \cos(3\theta_2) = 0 \\ \cos(5\theta_1) + \cos(5\theta_2) = 0 \end{cases}$ dont les solutions sont $\theta_1 = \pi/15$ et $\theta_2 = 4\pi/15$. Ainsi, le premier ensemble de fils conducteurs comporte quatre fils conducteurs disposés en θ_1 , $-\theta_1$, $\pi-\theta_1$ et $-\pi+\theta_1$ et le deuxième ensemble de fils conducteurs comporte quatre fils conducteurs disposés en θ_2 , $-\theta_2$, $\pi-\theta_2$ et $-\pi+\theta_2$. Ces deux conditions donnent lieu à une nouvelle configuration d'antennes dont l'homogénéité

15 à 10% est de 80% sur le diamètre, telle qu'illustré sur les figures 5a à 5c. La zone d'homogénéité à 10% est alors supérieure de plus de 20% à celle de la bobine selle.

Pour les valeurs supérieures de N, une résolution numérique peut être utilisée pour déterminer les angles.

20 Les brins d'une antenne peuvent être reliés à une extrémité par au moins un conducteur, ce dernier étant par exemple relié à une source de courant/tension.

Les brins peuvent être respectivement reliés à une extrémité par au moins deux conducteurs, par exemple deux, ces conducteurs étant disposés à une même hauteur dans la direction Z.

25 La ou les sources de courant et/ou de tension peuvent générer des courants de sens opposés dans les brins reliés par l'un de ces conducteurs relativement à ceux reliés par l'autre de ces conducteurs, et ce pendant l'émission de la séquence d'impulsions du champ magnétique RF.

Dans une variante, l'antenne filaire courte est monobrin. Dans ce cas, une pluralité d'antennes peut être mise en place pour obtenir le champ magnétique oscillant RF selon l'invention.

L'invention permet également de réaliser de nouvelles configurations d'antennes.

Les brins peuvent comporter une portion radiale qui s'étend radialement depuis un centre dans un plan perpendiculaire à l'axe z. La portion radiale peut être suivie par une portion s'étendant parallèlement à la direction Z. Les portions radiales peuvent être en forme d'étoile ou disposées autrement.

Les brins de l'antenne peuvent être flexibles. Ainsi, les brins peuvent épouser la forme d'une région de l'objet à imager, ce qui permet de gagner en rapport signal/bruit et d'offrir des possibilités de réalisation de nouvelles conformations d'antennes, au détriment éventuellement de l'homogénéité du champ magnétique créé par les brins lors de l'émission et induit dans les brins lors de la réception.

L'invention a encore pour objet un système d'antennes pour l'émission d'une séquence d'impulsions de champ magnétique RF et la détection de signaux de résonance magnétique nucléaire (RMN) dans un procédé d'imagerie et/ou de spectroscopie par RMN, comportant une première et une deuxième antenne filaire courte selon l'invention, les deux antennes filaires courtes étant imbriquées de manière tête-bêche l'une par rapport à l'autre.

De préférence, les brins de la première antenne ont sensiblement la même longueur que les brins de la deuxième antenne.

L'invention a encore pour objet un système d'antennes comportant deux antennes selon l'invention, les deux antennes sont alimentées par une source de tension, l'une des deux antennes étant reliée à la source de tension au moyen d'un déphaseur à 180° de façon à générer dans les brins des courants de sens opposés à ceux parcourant les brins de l'autre antenne.

Dans une variante, les deux antennes étant alimentées par un câble coaxial, les antennes étant reliées respectivement à l'âme et à la masse du câble coaxial, ce qui réalise un déphasage à 180° des courants entre les brins des deux antennes.

Les brins de chaque antenne peuvent être reliés à une extrémité par un conducteur, ces conducteurs étant par exemple disposés à une même hauteur dans la direction Z.

5 L'invention a encore pour objet un support pour loger la ou les antennes selon l'invention, comportant un corps tubulaire relié à une base, le corps comportant des passages configurés pour être parcourus par les brins de l'antenne.

Les passages sont par exemple répartis selon la méthode DSF décrite plus haut.

Le support comporte de préférence au moins un évidement permettant d'y installer un circuit d'accord.

10 Les passages peuvent être répartis en groupes de deux passages rapprochés, par exemple côte-à-côte. Les groupes sont de préférence répartis selon la méthode DSF décrite plus haut. Le support peut comporter deux évidements pour installer un premier et un deuxième circuit d'accord associé chacun à une antenne respective d'un système de deux antennes selon l'invention.

15 L'invention a encore pour objet un système d'antennes pour l'émission d'une séquence d'impulsions de champ magnétique RF et/ou la détection de signaux de résonance magnétique nucléaire (RMN) dans un procédé d'imagerie et/ou de spectroscopie par RMN, comportant une pluralité d'antennes filaires courtes monobrin (11), les brins des antennes (11) s'étendant au moins partiellement parallèlement selon un axe z, les brins
20 des antennes (11) étant disposés de telle manière à ce que les courants les parcourant présentent une même intensité à une même position selon l'axe z. Chaque antenne peut être associée à un circuit électrique d'accord et un amplificateur qui lui est propre.

Les antennes monobrin sont par exemple réparties angulairement sur la circonférence d'un cercle selon la méthode DSF décrite plus haut.

25 L'invention a encore pour objet un procédé d'imagerie et/ou de spectroscopie par résonance magnétique nucléaire (RMN), comportant au moins les étapes consistant à générer un champ magnétique constant B_0 dans une région où est situé un objet à examiner, émettre au moins une séquence d'impulsions de champ magnétique radiofréquence (RF), détecter des signaux de RMN, procédé dans lequel l'émission de la
30 ou des séquences d'impulsions de champ magnétique radiofréquence (RF) est réalisée par une antenne filaire courte ou un système d'antennes selon l'invention, tels que définis ci-dessus.

Le champ B_0 est en général dans le domaine de plusieurs mT à quelques T. Le rapport B_0/B_1 des intensités des champs B_0 et B_1 , pour l'imagerie du proton, est en général compris entre 10 et 10^6 .

La détection des signaux peut être réalisée par tout moyen adapté, notamment par une ou plusieurs antennes inductives.

L'utilisation d'antennes filaires courtes permet de se servir de l'inhomogénéité du signal dans la direction Z liée aux temps de propagation, pour localiser les spins à l'émission.

L'antenne selon l'invention telle que définie plus haut peut être configurée pour réaliser la sélection de coupe dans un procédé d'imagerie et/ou de spectroscopie par RMN.

L'invention permet de s'affranchir de la présence d'une bobine de gradient pour la sélection spatiale dans au moins une direction, et offre la possibilité de combiner la sélection spatiale et l'excitation RF.

La dépendance du courant de l'antenne filaire multibrin courte à la position z sur le brin permet de sélectionner spatialement, au moins dans la direction Z , des signaux de RMN à détecter, au moyen d'une séquence d'impulsions radiofréquence appropriée.

Par exemple, des séquences d'impulsions radiofréquence appropriées permettant d'effectuer la sélection spatiale dans un champ oscillant sont exposées dans les publications de Hoult : « *Rotating Frame Zugmatography* » publiée en 1979 dans le « *Journal of Magnetic Resonance* », de Cox & Styles « *Towards Biochemical Imaging* » publiée en 1980 dans le « *Journal of Magnetic Resonance* » et prolongée par Blackledge et al. dans « *The Elimination of Transmitter-Receiver Phase-Twist Artifacts in the Phase-Modulated Rotating-Frame Imaging Experiment* » publié en 1988 dans le « *Journal of Magnetic Resonance* » ainsi que la publication de Sharp et al. susmentionnée.

Dans ces publications, le champ oscillant B_1 ayant une direction variable est généré grâce à des bobines émettrices RF. La bobine RF utilisée en émission est conçue de façon à favoriser l'apparition d'un gradient de champ magnétique RF (B_1) dans une direction x tel que $B_1 = B_{10} + \frac{\partial B_1}{\partial x} x$.

Ainsi, l'angle de bascule $\theta(x)$ dépend de l'intensité du champ B_1 vu par les spins à la position x , i.e. $B_1(x)$. Après application du champ RF pendant une durée τ , l'angle de bascule sera $\theta(x) = \gamma(B_{10} + \frac{\partial B_1}{\partial x} x)\tau$.

Selon l'invention, le gradient de champ magnétique RF (B_1) peut être réalisé grâce à la dépendance du courant à la position z sur un brin de l'antenne courte.

En effet, le champ RF B_1 créé par une antenne filaire courte multibrin peut s'écrire approximativement sous la forme $B_1 = k I_0 (1 - z/L)$, conformément à l'équation (3.a) pour une antenne filaire courte monopole de longueur L où I_0 représente le courant d'alimentation de l'antenne et k est un coefficient de sensibilité dépendant des paramètres géométriques de l'antenne. Ce coefficient peut s'obtenir par calcul ou par simulation numérique.

Ainsi, en substituant B_1 dans l'équation (1), on obtient:

$$\theta_1 = k \gamma I_0 (1 - z/L) \tau \quad \text{éq. (8).}$$

En considérant maintenant que l'antenne est alimentée lors d'un « pulse de calibration » par le courant I_0 pendant une durée τ telle que $\theta_1 = \pi/2$ à une position $z = z_{réf}$, l'équation (4) devient :

$$\pi/2 = k \gamma I_0 (1 - z_{réf}/L) \tau \quad \text{éq. (9)}$$

Par exemple, $z_{réf}$ est choisi près du centre de l'échantillon pour ensuite étendre le champ de vue spatial.

Le rapport entre les équations (8) et (9) permet d'exprimer la dépendance de l'angle de bascule en fonction de la position z , à savoir $\theta_1(z)$, quelle que soit la méthode utilisée pour choisir la localisation spatiale des signaux de RMN à détecter, par exemple l'ajustement de l'intensité du champ B_1 par le courant d'alimentation I_0 des antennes lors du pulse de calibration ou de la durée d'application τ du pulse de calibration:

$$\theta_1(z) = \frac{\pi}{2} \frac{1 - z/L}{1 - z_{réf}/L} \quad \text{éq. (10)}$$

L'angle de bascule θ_1 , et donc l'intensité du signal, est alors fonction des conditions d'obtention du pulse de calibration à $\pi/2$ à $z = z_{réf}$, i.e. I_0 , τ , etc. et de la position z .

Toutefois, la nutation des spins a lieu dans le plan $y'-z'$ du repère tournant, ce dernier étant défini par les axes x' , y' , z' . De façon conventionnelle, par exemple telle que décrite dans la publication de Hoult citée plus haut, l'axe z' du référentiel tournant coïncide avec l'axe z , qui est parallèle à B_0 , tandis que les axes x' et y' sont tournant à la fréquence de Larmor ω_0 . L'application d'un pulse $\pi/2$ homogène dans la direction perpendiculaire permet de basculer les aimantations dans le plan $x'-y'$ du repère tournant. Le signal de RMN appelé « *Free Induction Decay* » (FID) prend la forme ci-dessous :

$$e(x, t) \propto M_0(x, t) e^{j\gamma(B_1(x) + \frac{\partial B_1}{\partial x} x)\tau + j\frac{\pi}{2} - \frac{t}{T_2}} \quad \text{éq. (11)}$$

La séquence est ensuite répétée pour diverses valeurs de τ , par exemple de 0 à $\tau_{\max}$ d'après Hoult, dont le nombre de répétitions dépend de la résolution souhaitée. L'application de plusieurs pulses de durées τ variables se traduit par une modulation de la phase de la FID. L'application d'une transformée de Fourier permet ensuite de mettre en évidence la modulation de la phase causée par le gradient de champ RF :

$$TF[e(x, t)] \propto \int_{\tau=0}^{\tau_{\max}} e(x, t) e^{-j\omega_x \tau} d\tau$$

$$TF[e(x, t)] \propto -M_0(x, t) e^{-\frac{t}{T_2}} \int_{\tau=0}^{\tau_{\max}} e^{j\Delta\omega_x \tau} d\tau$$

où $\Delta\omega_x = -\omega_x + \gamma(B_1 + \frac{\partial B_1(x)}{\partial x} x)$

$$TF[e(x, t)] \propto -M_0(x, t) e^{-\frac{t}{T_2}} \frac{(e^{j\Delta\omega_x \tau_{\max}} - 1)}{j\Delta\omega_x}$$

Un exemple de séquence de pulse 1D appropriée est présenté en figure 8.

Selon la publication « *MRI using radiofrequency magnetic field phase gradients* » de Sharp et al. susmentionnée, après l'application du pulse de calibration permettant la bascule à $\pi/2$ à $z=z_{\text{réf}}$, une succession d'impulsions à π en $z=z_{\text{réf}}$ permet d'accentuer la sélection spatiale, et offre un moyen simple de sélectionner une coupe.

Une méthode alternative de sélection spatiale des spins, i.e. de sélection de coupe utilisant le champ RF, par exemple sur la base de la publication de Blackledge et al., consiste à appliquer une succession de pulses RF favorisant l'excitation cohérente d'une région de l'espace tandis que des interférences destructives sont obtenues ailleurs. Il est notamment proposé d'appliquer une succession de pulses en suivant la relation suivante :

$$\theta = (2n+1)\pi/2(-1)^n \text{ avec } n=0, 1, 2, \dots \quad \text{éq.(12)}$$

Des combinaisons de différents pulses permettent ensuite de favoriser la sélection spatiale. Par exemple Blackledge propose une séquence comportant 20 bascules à $\pi/2$ suivies de 14 pulses à $-3\pi/2$ puis de 5 pulses à $5\pi/2$ et enfin un pulse à $7\pi/2$. Par addition des acquisitions successives, la détection est rendue sensible à une coupe spatiale

d'enveloppe Gaussienne. L'épaisseur de sélection dépendra in fine, de l'intensité du gradient.

Pour sélectionner spatialement une nouvelle coupe à une hauteur quelconque z dans le volume de mesure, il peut suffire d'ajuster soit la durée τ d'application du pulse de calibration de la séquence d'impulsions RF, soit l'intensité I_0 d'alimentation de l'antenne lors de l'application du pulse de calibration.

La dépendance de l'angle de bascule θ_l de la région de l'objet à examiner à la position le long du brin peut être utilisée pour sélectionner une coupe selon l'axe z et permet de remplacer une bobine de gradient de l'IRM dans au moins une direction.

La sélection spatiale ainsi obtenue présente un intérêt particulier puisqu'elle peut satisfaire à la mesure de flux (par des méthodes d'entrée de coupe) dans une application de RMN portable pour l'étude de la physiologie des plantes.

Le procédé peut ainsi comporter au moins une étape de sélection spatiale d'un plan x-y de détection de position z_0 selon l'axe z , par exemple en choisissant une durée ou une amplitude d'un pulse de calibration de la séquence d'impulsions radiofréquence ; en particulier, on peut ajuster une durée (τ) d'application du pulse de calibration, ou bien une tension ou une puissance d'alimentation de l'antenne lors de l'application du pulse de calibration.

La sélection spatiale peut permettre de sélectionner la région à examiner dans un plan x-y perpendiculaire à l'axe z dans le volume de mesure.

En vertu du théorème de réciprocité qui stipule la symétrie des propriétés des antennes en émission et en réception, cette dépendance du courant à la position z intervient aussi en réception, et l'on peut alors la compenser en utilisant des configurations symétriques pour moyenner cette dépendance et obtenir un résonateur volumique homogène.

L'invention a ainsi aussi pour objet un procédé d'imagerie et/ou de spectrométrie par résonance magnétique nucléaire (RMN), comportant au moins les étapes de génération d'un champ magnétique constant B_0 dans une région contenant un objet à examiner, d'émission d'au moins une séquence d'impulsions de champ magnétique radiofréquence (RF), et de détection de signaux de RMN, procédé dans lequel la détection des signaux de RMN est réalisée par un système d'antennes selon l'invention.

Cet aspect de l'invention permet de s'affranchir de la dépendance des signaux détectés à la position du brin, comme expliqué plus haut.

Un système d'antennes filaires courtes selon l'invention peut être utilisé uniquement soit en émission soit en réception. Dans le cas d'une utilisation uniquement en
5 émission, la détection du signal de résonance magnétique nucléaire (RMN) peut être réalisée par une ou plusieurs antennes inductives. Dans le cas d'une utilisation uniquement en réception, l'émission de la séquence d'impulsions de champ magnétique radiofréquence (RF) peut être réalisée par une ou plusieurs antennes inductives. Dans ce dernier cas, des circuits de découplage à base de diode PIN peuvent être associés au système. Ces circuits
10 sont par exemple connus de la publication «*Electronic decoupling of surface-coil receivers for NMR imaging and spectroscopy*» de Edelstein et al. publiée en 1986 in the «*Journal of Magnetic Resonance*».

En variante, un système d'antennes filaires courtes selon l'invention peut être utilisé à la fois en émission et en réception. Cela permet alors de réaliser l'excitation RF
15 dans la région à examiner et la détection des signaux RMN avec un seul et même dispositif.

Les procédés selon l'invention peuvent comporter une étape de traitement des signaux de RMN détectés. Une image représentative de la région de l'objet à examiner peut être générée à partir des signaux traités.

20 La sélection spatiale des spins dans un plan, selon cet aspect de l'invention, peut aussi être obtenue en sélectionnant l'une des première et deuxième antennes filaires tandis que les deux antennes filaires multibrins sont combinées à la détection pour s'affranchir de la dépendance du signal détecté à la position sur le brin.

Les brins sont de préférence accordés à la fréquence d'observation des signaux
25 de RMN.

L'antenne filaire peut être placée dans n'importe quelle direction par rapport au champ statique B_0 . Toutefois, la direction de détection de l'antenne filaire est la direction orthoradiale au brin de la composante magnétique RF ou bien la direction colinéaire de la composante électrique RF.

30 Chaque antenne ou chaque système d'antennes peut être relié à un amplificateur de proximité pendant l'étape de réception.

Chaque antenne ou chaque système d'antennes peut être associé à un circuit électrique d'accord de fréquence. Ce circuit électrique d'accord de fréquence peut comporter au moins un condensateur ou une inductance monté en série avec au moins l'un des brins.

5 Dans une variante, chaque antenne ou chaque système d'antennes est associé à un circuit électrique d'adaptation d'impédance comportant au moins un condensateur ou une inductance monté en parallèle avec au moins un brin.

Les brins de la ou des antennes peuvent être flexibles. Le procédé peut comporter une étape de mise en place des brins sur la région de l'objet à examiner de manière à épouser au moins partiellement la forme de ce dernier.

10 L'utilisation de l'antenne selon l'invention permet de réaliser un dispositif compact de spectrométrie par RMN ou d'IRM, et de préférence portable.

La ou les antennes peuvent être utilisées en étant immergées dans un échantillon en phase liquide, solide ou gazeuse comportant une matière à caractériser, par exemple une matière dont les noyaux possèdent un moment magnétique. Ceci peut être utile pour l'analyse par spectroscopie de composés chimiques ou biologiques.

Dans une variante, la ou les antennes sont utilisées en dehors d'un échantillon comportant une matière à caractériser.

Le procédé peut être utilisé pour identifier des composés, par exemple chimiques ou biologiques, par exemple des molécules, dans des applications pharmaceutiques, précliniques et/ou agroalimentaires.

Le procédé selon l'invention peut être utilisé pour analyser le stress hydrique et/ou la structure des tissus dans des végétaux. Le procédé comporte alors une étape de traitement du signal délivrant une image représentative de la teneur en eau d'un végétal.

25 L'invention trouve aussi à s'appliquer dans le domaine médical.

L'invention pourra être mieux comprise à la lecture de la description détaillée qui suit, d'exemples de mise en œuvre non limitatifs de l'invention, et au vu du dessin annexé, sur lequel :

- La figure 1 représente, de manière schématique, un système d'antennes à champ homogène dans un plan x-y, comportant des brins déphasés à l'alimentation de 180°;

- la figure 2 illustre en perspective l'intensité du champ magnétique B_1 créée avec un exemple de répartition de brins permettant l'obtention d'un champ homogène dans un plan x-y de la figure 1, obtenu à l'aide d'un logiciel de simulation par éléments finis;

- la figure 3 est une vue par le bas de la cartographie de B_1 dans le plan x-y de la figure 2, qui illustre l'homogénéité obtenue dans un plan à une hauteur quelconque;

- la figure 4 est une vue de la cartographie de B_1 dans le plan z-y de la figure 2, qui illustre la dépendance de l'intensité du champ à la position sur la hauteur du brin;

- les figures 5a à 5c représentent un autre exemple de répartition de brins pour l'obtention d'un champ homogène dans un plan x-y;

- la figure 6 représente de manière schématique un système d'antennes filaires courtes selon l'invention;

- la figure 7 illustre de manière schématique un circuit d'accord et d'adaptation relié à un brin conducteur;

- la figure 8 représente une séquence de pulse 1D connue pour accentuer la sélection spatiale; et

- la figure 9 représente de manière schématique une variante d'antennes filaires courtes selon l'invention,

- la figures 10 et 11 illustrent de manière schématique des variantes de système d'antennes selon l'invention ;

- les figures 12 et 13 illustrent de manière schématique des supports pour loger des antennes selon l'invention ; et

- les figures 14 et 15 sont des vues de dessus des bases de support selon les figures 12 et 13.

La référence z est employée dans la présente demande pour désigner à la fois l'axe z et la coordonnée d'un point selon cet axe z, comme couramment fait pour les repères orthogonaux.

On a représenté à la figure 1 un système d'antennes 1 selon l'invention pour l'émission d'une séquence d'impulsions radiofréquence (RF).

Le système comporte deux antennes filaires courtes 13 et 14, alimentées par une source de tension 8.

Chaque antenne 13 ou 14 comporte une pluralité de brins conducteurs 31 et 41. Les brins 31 et 41 ont une même longueur L et s'étendent selon une direction définissant

l'axe z d'un repère orthogonal. La longueur L dépend du champ et des noyaux et elle est par exemple comprise entre 10 mm et 100 mm pour l'observation d'un proton dans un champ de 9,4 T.

Dans l'exemple considéré, les brins 31 de l'antenne 13 sont reliés ensemble à une extrémité 90 par un conducteur 37 à une même hauteur z selon l'axe z et de même les brins 41 de l'antenne 14 sont reliés ensemble à une extrémité 90 par un conducteur 47 à la même hauteur selon l'axe z.

Les conducteurs 37 et 47 sont sous forme d'arcs dans l'exemple illustré. Les brins 31 et 41 définissent ainsi les limites d'un volume de mesure, sensiblement cylindrique et s'étendant suivant un axe longitudinal parallèle à l'axe z.

L'objet à examiner est par exemple introduit par des ouvertures supérieure ou inférieure du volume de mesure.

En variante, le volume de mesure est construit autour du volume à examiner, les antennes étant mises en place autour de l'objet à analyser.

Les conducteurs 37 et 47 sont reliés en leurs milieux respectifs C_3 et C_4 à la source de tension 8.

Dans l'exemple de la figure 1, afin d'obtenir une homogénéité de champ magnétique oscillant B_1 dans le volume de mesure, un déphasage est créé dans l'alimentation des antennes 13 et 14. L'antenne 14 est reliée à la source de tension 8 au moyen d'un déphaseur à 180° , de façon à générer dans les brins 31 des courants I_1 de sens opposés à ceux parcourant les brins 41 de l'antenne 14. A une position donnée selon l'axe z, ces courants présentent substantiellement la même valeur pour les brins 31. Il en est de même pour les brins 41.

Les positions de brins 31 et 41 peuvent être déterminées par la méthode suppression des harmoniques de la DS représentant la loi de distribution de la densité de courant par l'éq (4).

Les figures 2 à 4 illustrent, pour le cas $N=3$, une répartition des brins selon cette méthode. On obtient $\theta_1 = 11,66^\circ$, $\theta_2 = 26^\circ$ et $\theta_3 = 56^\circ$, dont chaque angle θ_1 , θ_2 et θ_3 définit la position d'un ensemble de fils conducteurs comportant quatre brins autour de l'axe z.

La simulation électromagnétique a été réalisée à une fréquence de 200MHz pour une antenne comportant douze brins de longueur de 3cm.

Les intensités différentes du champ magnétique B_1 sont matérialisées par des teintes différentes.

Le champ magnétique B_1 ainsi obtenu est de direction parallèle aux plans P_{x-y} perpendiculaires à l'axe z . Comme illustré à la figure 3, le champ magnétique B_1 est
5 sensiblement homogène au sein de chacun de ces plans P_{x-y} .

La valeur du champ B_1 diminue linéairement selon l'axe z depuis une hauteur correspondant aux extrémités supérieures 90 des brins 13 et 14 respectivement liées au conducteurs 37 et 47 jusqu'à une hauteur définie par les extrémités libres 10 des brins 13.

Dans une variante, les brins des deux antennes 13 et 14 sont tous reliés à un
10 seul conducteur, par exemple sous forme d'un anneau, et forment ainsi une seule antenne en émission selon l'invention favorisant ainsi l'apparition d'un gradient de champ RF dans le plan $x-y$.

D'autres répartitions de brins par un routage adéquat et des configurations d'alimentation appropriées ne sortent pas du cadre de la présente invention.

15 Si la dépendance radiale est sensiblement éliminée dans le volume de mesure délimité par les antennes 13 et 14, la dépendance de l'intensité du signal à la position de l'objet par rapport à la hauteur du brin s'avère avantageuse pour la localisation du signal.

Le théorème de réciprocité indique que le gain en émission et le gain en réception sont liés, ce qui permet de prédire que la sensibilité en réception dépend de la
20 position sur le brin et de la distance radiale au brin.

La figure 6 illustre un système selon l'invention qui peut être utilisé à la fois pour l'émission des séquences d'impulsions de champ magnétique radiofréquence (RF) et pour la détection des signaux de résonance magnétique nucléaire (RMN).

Le système comporte des première et deuxième antennes filaires courtes 17 et
25 12. Chaque antenne 17 et 12 comporte une pluralité de brins 71 et 21.

Dans l'exemple illustré, les brins 71 et 21 s'étendent parallèlement à une direction définissant l'axe z d'un repère orthogonal. Les brins 71 de la première antenne 17 ont de préférence sensiblement la même longueur que les brins 21 de la deuxième antenne 12 pour assurer l'homogénéité du champ.

30 Les brins 71 de la première antenne 17 sont tous reliés à leur extrémité supérieure à un conducteur 77 à une première altitude z_1 selon l'axe z et les brins 21 de la

deuxième antenne 12 sont tous reliés à leur extrémité à un conducteur 27 à une deuxième altitude z_2 selon l'axe z , avec $z_2 < z_1$.

Les brins 71 de la première antenne 17 sont imbriqués et disposés de manière tête-bêche entre les brins 21 de la deuxième antenne 12.

5 Chaque antenne 12 et 17 est reliée, au moyen d'un interrupteur électronique 54, à une source d'alimentation 87 et 82 à l'émission et à une sortie P_{out1} et P_{out2} à la détection.

Les antennes 12 et 17 présentent une dépendance à la position z à l'émission. En vertu du théorème de réciprocité, il en est de même en réception, ce qui signifie que la détection est plus ou moins sensible selon la position z . Cette dépendance à la réception est
10 compensée par l'addition des signaux détectés par les antennes 12 et 17.

En effet, les intensités des signaux I_1 et I_2 détectés par les deux antennes 12 et 17 peuvent s'exprimer chacune comme une fonction de la position z :

$$\begin{aligned} I_1(z) &= I_0 \left(1 - \frac{z}{L}\right) \\ I_2(z) &= I_0 \left(\frac{z}{L}\right) \end{aligned} \quad \text{éq. (13)}$$

où I_0 représente le courant de sortie en réception et L la longueur des brins 21
15 et 71.

La résultante $I(z)$ ne présente alors plus de dépendance à la position z , au moins à la détection :

$$I(z) = I_1(z) + I_2(z) = I_0 \quad \text{éq. (14)}$$

En utilisant le système selon la figure 4, l'émission des séquences d'impulsions
20 de champ magnétique radiofréquence ainsi que la sélection spatiale des spins dans un plan peuvent être réalisées en sélectionnant l'une ou l'autre des deux antennes 11 et 12 alimentées respectivement par des sources d'alimentation 81 ou 82 à l'émission, tandis que les deux antennes 11 et 12 sont combinées à la détection pour s'affranchir de la dépendance du signal détecté à la position le long des brins. Les sorties P_{out1} et P_{out2} sont dirigées vers
25 des amplificateurs de signaux 71 et 72.

Pour augmenter l'efficacité des antennes en réception, des antennes filaires courtes 12 et 17 peuvent être associées à un ou plusieurs circuits 9 d'accord et d'adaptation. Cela se fait classiquement pour les bobines inductives utilisées en spectroscopie et imagerie par RMN. Comme expliqué dans la publication "*Tunable electrically small*
30 *Antennas*" de John A.M. Lyon, Alan G-T Cha and Mohamed A. Hidayet, les circuits

d'accord et d'adaptation employés pour les antennes filaires courtes sont duaux de ceux qui sont utilisés pour les bobines.

Dans l'exemple illustré à la figure 6, chaque antenne 11 et 12 est associée à un circuit d'accord et d'adaptation 9.

5 Un exemple d'un circuit d'accord et d'adaptation 9 est illustré en figure 7. Le circuit comporte un condensateur C_t et une inductance L montés en série avec le brin conducteur 1 pour accorder la fréquence, mais aussi un condensateur en parallèle C_m pour adapter l'impédance. Comme expliqué dans la publication "*Tunable electrically small Antennas*", cette configuration de circuit d'accord est connue pour permettre de se
10 rapprocher d'une antenne quart-d'onde ($\lambda/4$) lorsque la place disponible est réduite.

L'invention n'est bien entendu pas limitée aux modes de réalisation décrits, et en englobe toutes les variantes.

Par exemple, le circuit d'accord et d'adaptation comporte des inductances variables au lieu de condensateurs variables.

15 Les brins peuvent être disposés de manière uniforme autour d'un axe passant par le centre C et parallèle à l'axe z. Des composants électroniques tels que des condensateurs et des inductances peuvent être associés aux brins pour obtenir un déphasage des courants dans les brins de la ou des antennes filaires dans des configurations différentes des brins, par analogie avec les antennes « *birdcage* ».

20 La figure 9 illustre une antenne filaire multibrin monopole 16 en étoile, utilisée en réception seule. Cette antenne 16 épouse par exemple la forme de l'objet à imager.

Dans la variante de la figure 10, le système d'antennes 1 comporte deux antennes filaires courtes 13 et 14, dont le déphasage entre les brins 31 et 41 est créé en utilisant la propriété d'une antenne dipolaire.

25 Dans l'exemple considéré, les brins 31 de l'antenne 13 sont reliés ensemble à une extrémité 90 par un conducteur 37 à une même hauteur z selon l'axe z et de même les brins 41 de l'antenne 14 sont reliés ensemble à une extrémité 90 par un conducteur 47 à la même hauteur selon l'axe z.

Les conducteurs 37 et 47 sont reliés respectivement à l'âme et à la masse d'un
30 câble coaxial 88.

Le système d'antennes 1 est associé à un circuit d'accord et d'adaptation 9. Ce dernier comporte deux condensateurs variables C_1 et C_2 , dont les valeurs sont choisies en fonction de la fréquence de résonance nucléaire de la matière à mesurer.

Dans la variante de la figure 11, l'antenne 101 comporte huit brins 11. Chaque
5 brin 11 est associé à un circuit 9 d'accord en fréquence et un amplificateur 71 en série. L'amplificateur 71 est par exemple à bas bruit de proximité. Les brins 11 sont par exemple répartis sur la circonférence d'un cercle C selon la méthode DSF décrite plus haut. Les figures 12 et 13 illustrent des supports pour loger les antennes selon l'invention. Le support
5 comporte un corps tubulaire 52 relié à une base 53. Le corps 52 comporte des passages
10 51 configurés pour être parcourus par les brins de l'antenne.

Dans la variante de la figure 12, le corps 52 comporte 8 passages 51 (dont la moitié est représentée), répartis selon la méthode DSF exemplifiée à la figure 5C. Cette répartition de passages 51 est représentée de manière schématique sur la figure 14. Le support de la figure 12 permet de loger un système de deux antennes dont chacune
15 comporte 4 brins, par exemple analogue à celui représenté à la figure 1. La base 53 du support 5 comporte un évidement 90 permettant d'y installer un circuit d'accord 9.

Dans la variante de la figure 13, le corps 52 comporte 16 passages 51 (dont la moitié est représentée). Cette répartition des passages 51 est représentée de manière schématique sur la figure 15. Les passages 51 sont répartis en huit groupes 56 de deux
20 passages 51. Chaque groupe 56 de passages 51 comportent deux passages 51 rapprochés, par exemple côte-à-côte. Les groupes 56 sont répartis selon la méthode DSF telle qu'exemplifiée à la figure 5C. Un tel support permet de loger un système de deux antennes, par exemple disposées tête-bêche de façon analogue à ce qui est représenté à la figure 6.

Dans cette variante, la base 53 du support 5 comporte un premier évidement 90 pour installer un premier circuit d'accord 9. Le support 5 comporte un deuxième évidement 90 pour installer un deuxième circuit d'accord 9. Ce deuxième évidement est ménagé dans une partie 91 du support 5 située au niveau du sommet du corps 52 et reliée au corps 52 du support 5 par une jambe de soutien 55. Les premier et deuxième circuits
25 d'accord 9 sont associés chacun à une antenne respective du système. Ainsi, lorsque le support reçoit un système d'antenne en tête-bêche, le support permet de disposer un circuit d'accord en amont des brins de chaque antenne.

Dans les exemples des figures 12 et 13, les brins peuvent traverser la base 53 à la faveur d'ouvertures 92, ce qui permet leur raccordement sous la base 53.

Un système d'IRM ou de spectrométrie pour la mise en œuvre de l'invention peut comporter entre autre un aimant ou un électroaimant générant un champ permanent B_0 dans la direction Z. La présence d'une bobine de gradient n'est pas nécessaire mais ne sort pas du cadre de la présente invention.

Aussi, pour des raisons de simplicité, des systèmes de contrôle des champs B_0 et de la ou les sources de tension pour la génération du champ B_1 n'ont pas été représentés.

Les systèmes pour le traitement des signaux et images et éventuellement d'affichage n'ont pas été représentés non plus.

L'antenne filaire courte peut être refroidie pour réduire son bruit intrinsèque et donc augmenter son rapport signal sur bruit.

L'antenne filaire courte peut être réalisée sur un support souple pour s'adapter à la forme de l'objet.

REVENDICATIONS

1. Antenne filaire courte (13; 14; 12; 17; 15; 16) pour l'émission d'une séquence d'impulsions de champ magnétique radiofréquence (RF) dans un procédé d'imagerie et/ou de spectroscopie par résonance magnétique nucléaire (RMN), l'antenne filaire courte comportant une pluralité de brins (31; 41; 21; 71; 51; 61) s'étendant au moins partiellement selon une direction Z, dans un repère orthogonal ayant un axe z défini par la direction Z, les brins étant disposés de telle manière à ce que les courants parcourant les brins (31; 41; 21; 71; 51; 61) de l'antenne (13; 14; 12; 17; 15; 16) présentent une même intensité à une même position selon l'axe z.

2. Antenne filaire courte selon la revendication 1, la répartition des brins autour de l'axe z et les phases des courants les parcourant étant choisies pour créer un champ magnétique oscillant RF (B_1) homogène dans une pluralité de plans x-y perpendiculaires à l'axe z, les brins (31; 41; 21; 71; 51; 61) ayant de préférence une même longueur (L).

3. Antenne filaire courte selon la revendication 1 ou 2, les brins (31; 41; 21; 71) de l'antenne (13; 14; 12; 17) s'étendant parallèlement à l'axe z.

4. Antenne selon l'une quelconque des revendications précédentes, l'antenne comportant N ensembles de quatre brins répartis sur la circonférence d'un cercle où N est un nombre entier supérieur à 1, la position des brins étant définie par les angles θ_n , où θ_n sont les solutions du système :

$$\begin{cases} \sum_{n=1}^N (\cos(3\theta_n)) = 0 & (k = 1) \\ \dots \\ \sum_{n=1}^N (\cos((2j + 1)\theta_n)) = 0 & (k = j) \\ \dots \\ \sum_{n=1}^N (\cos((2N + 1)\theta_n)) = 0 & (k = N) \end{cases}$$

5. Antenne selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, l'antenne comportant une paire de deux brins centraux et N ensembles de quatre brins répartis sur la circonférence d'un cercle où N est un nombre entier supérieur à 1, les fils de conducteurs centraux étant disposés respectivement sur le cercle à angle azimutal égal à 0 et π et la position des brins étant définie par les angles θ_n , où θ_n sont les solutions du système

$$\begin{cases} 1 + \sum_{n=1}^N (\cos(3\theta_n)) = 0 & (k = 1) \\ \dots \\ 1 + \sum_{n=1}^N (\cos((2j + 1)\theta_n)) = 0 & (k = j) \\ \dots \\ 1 + \sum_{n=1}^N (\cos((2N + 1)\theta_n)) = 0 & (k = N) \end{cases}$$

6. Système d'antennes pour l'émission d'une séquence d'impulsions de champ magnétique RF et la détection de signaux de résonance magnétique nucléaire (RMN) dans un procédé d'imagerie et/ou de spectroscopie par RMN, comportant une première et une deuxième antenne filaire courte (12, 17) selon l'une quelconque des revendications précédentes, les deux antennes filaires courtes (12, 17) étant imbriquées de manière tête-bêche l'une par rapport à l'autre.

7. Système d'antennes selon la revendication 6, les brins (21) de la première antenne (12) ayant même longueur (L) que les brins (17) de la deuxième antenne (71).

8. Système d'antennes (1) comportant deux antennes (13, 14) selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, les deux antennes (13, 14) étant alimentées par une source de tension (8), l'une des deux antennes (13, 14) étant reliée à la source de tension (8) au moyen d'un déphaseur (6) à 180° de façon à générer dans les brins (31) des courants (I₁) de sens opposés à ceux parcourant les brins (41) de l'autre antenne (14).

9. Système d'antennes (1) comportant deux antennes (13, 14) selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, les deux antennes (13, 14) étant alimentées par un câble coaxial (88), les antennes (13, 14) étant reliées respectivement à l'âme et à la masse du câble coaxial (88).

10. Système d'antennes (1) selon la revendication 8 ou 9, les brins (31, 41) de chaque antenne (13, 14) étant reliés à une extrémité par un conducteur (37, 47), ces conducteurs (37, 47) étant disposés à une même hauteur selon l'axe z.

11. Système d'antennes (101) pour l'émission d'une séquence d'impulsions de champ magnétique RF et/ou la détection de signaux de résonance magnétique nucléaire (RMN) dans un procédé d'imagerie et/ou de spectroscopie par RMN, comportant une pluralité d'antennes filaires courtes monobrins (11), les brins des antennes (11) s'étendant au moins partiellement parallèlement selon un axe z, les brins des antennes (11) étant disposés de telle manière à ce que les courants les parcourant présentent une même

intensité à une même position selon l'axe z, chaque antenne étant de préférence associée à un circuit électrique d'accord (9) et un amplificateur (71) qui lui est propre.

12. Procédé d'imagerie et/ou de spectroscopie par résonance magnétique nucléaire (RMN), comportant au moins les étapes consistant à :

- 5 - générer un champ magnétique constant B_0 dans une région où un objet à examiner est présent,
- émettre au moins une séquence d'impulsions de champ magnétique radiofréquence (RF),
- détecter des signaux de résonance magnétique nucléaire (RMN), procédé dans
- 10 lequel l'émission de la ou les séquences d'impulsions de champ magnétique radiofréquence (RF) est réalisée par une antenne filaire courte selon l'une quelconque des revendications 1 à 5 ou par un système d'antennes selon l'une quelconque des revendications 6 à 11.

13. Procédé selon la revendication précédente, mis en œuvre par l'antenne

15 filaire courte ou par le système d'antennes, les brins de la ou des antennes délimitant les limites d'un volume de mesure, de préférence ayant au moins une ouverture selon la direction Z.

14. Procédé selon la revendication précédente, comportant au moins une étape de sélection spatiale d'un plan x-y de détection perpendiculaire à l'axe z dans le volume de

20 mesure, de préférence en choisissant, entre autres, une durée (τ) d'application d'un pulse de calibration de la séquence d'impulsions RF et/ou une tension ou puissance d'alimentation de l'antenne lors de l'application du pulse de calibration.

15. Procédé selon l'une quelconque des revendications 12 à 14, la détection des signaux de résonance magnétique nucléaire (RMN) étant réalisée par au moins une antenne

25 inductive.

16. Procédé d'imagerie et/ou de spectroscopie par résonance magnétique nucléaire (RMN), comportant au moins les étapes de génération un champ magnétique constant B_0 dans une région d'un objet à examiner, d'émission d'au moins une séquence d'impulsions de champ magnétique radiofréquence (RF), détection de signaux de

30 résonance magnétique nucléaire (RMN), procédé dans lequel la détection de signal de résonance magnétique nucléaire (RMN) est réalisée par un système d'antennes selon l'une quelconques des revendications 6 à 11.

17. Procédé selon la revendication 16, dans lequel l'émission de la ou des séquences d'impulsions radiofréquence (RF) est réalisée par au moins une antenne inductive.

5 18. Procédé selon la revendication 16, dans lequel l'émission de la ou des séquences d'impulsions radiofréquence (RF) est réalisée par l'une des première et deuxième antennes filaires courtes (12; 17).

19. Procédé selon l'une des revendications 12 à 18, la ou chaque antenne (13; 14; 12; 17; 15) étant de type monopole ou de type dipôle.

10 20. Procédé selon l'une quelconque des revendications 12 à 19, la ou les antennes filaires courtes étant utilisées en champ proche.

21. Procédé selon l'une quelconque des revendications 12 à 20, les brins étant de préférence flexibles, et le procédé comportant une étape de mise en place des brins sur l'objet à examiner de manière à épouser au moins partiellement la forme de ce dernier.

15 22. Procédé selon l'une quelconque des revendications 12 à 21, le procédé étant utilisé pour analyser le stress hydrique dans des végétaux.

23. Procédé selon l'une quelconque des revendications 12 à 22, le procédé étant utilisé pour analyser la structure des tissus dans des végétaux.

24. Procédé selon l'une quelconque des revendications 12 à 22, le procédé étant utilisé pour identifier des composés.

20 25. Procédé selon l'une quelconque des revendications 12 à 24, dans lequel la ou les antennes sont immergées dans un échantillon comportant une matière à caractériser.

26. Procédé selon l'une quelconque des revendications 12 à 24, dans lequel la ou les antennes sont utilisées en dehors d'un échantillon comportant une matière à caractériser.

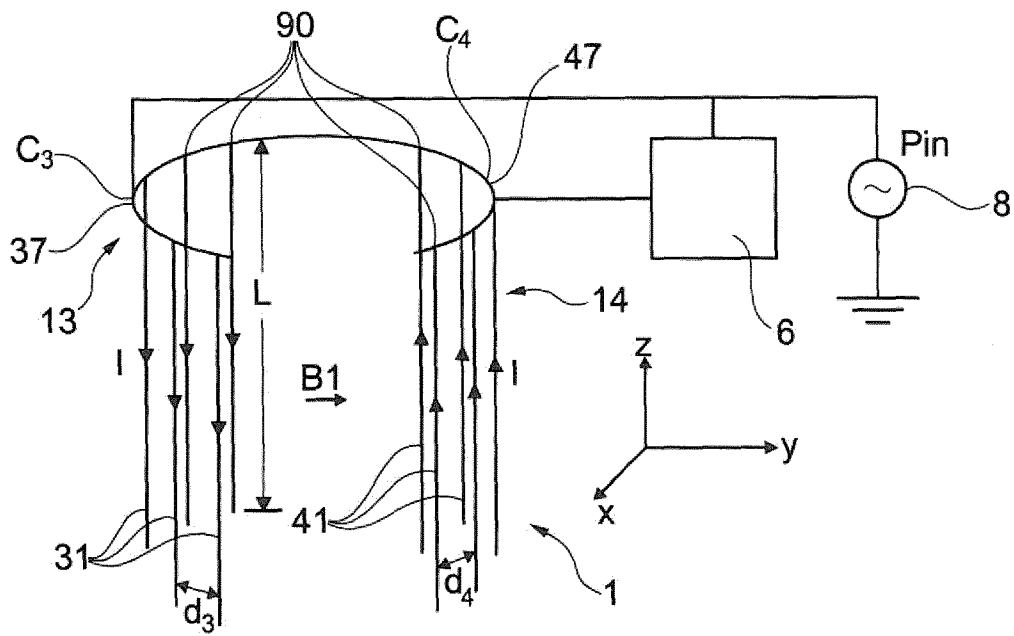


Fig. 1

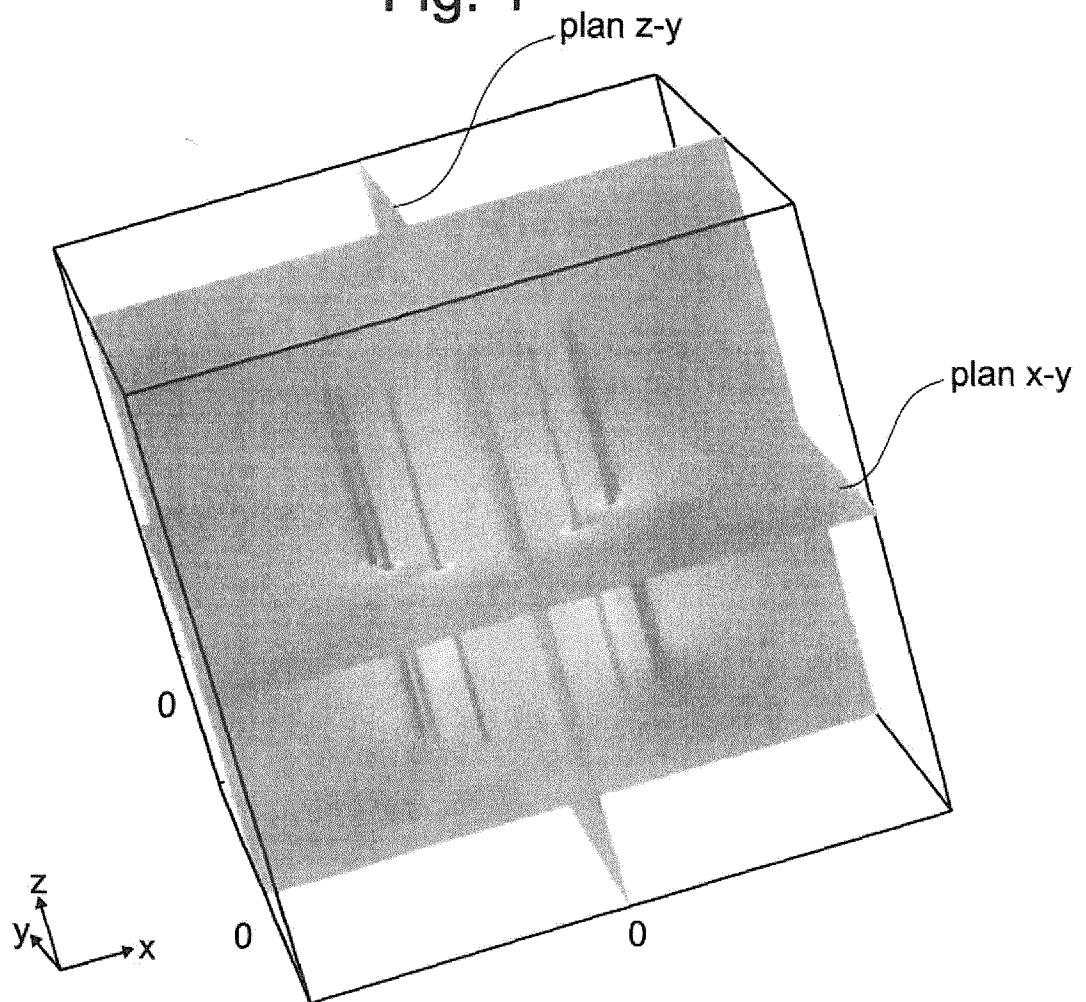


Fig. 2

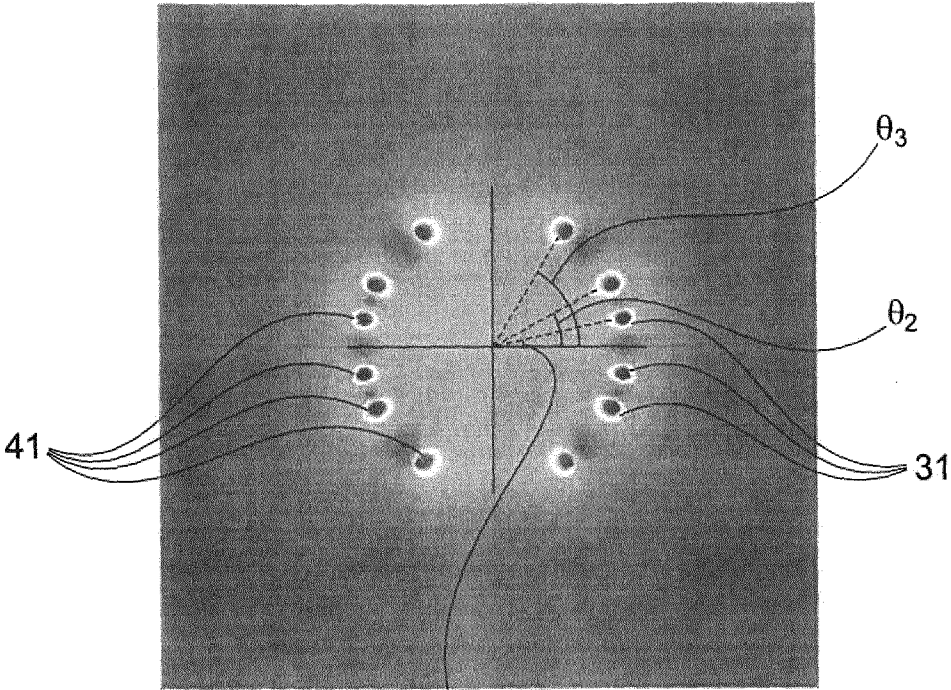


Fig. 3

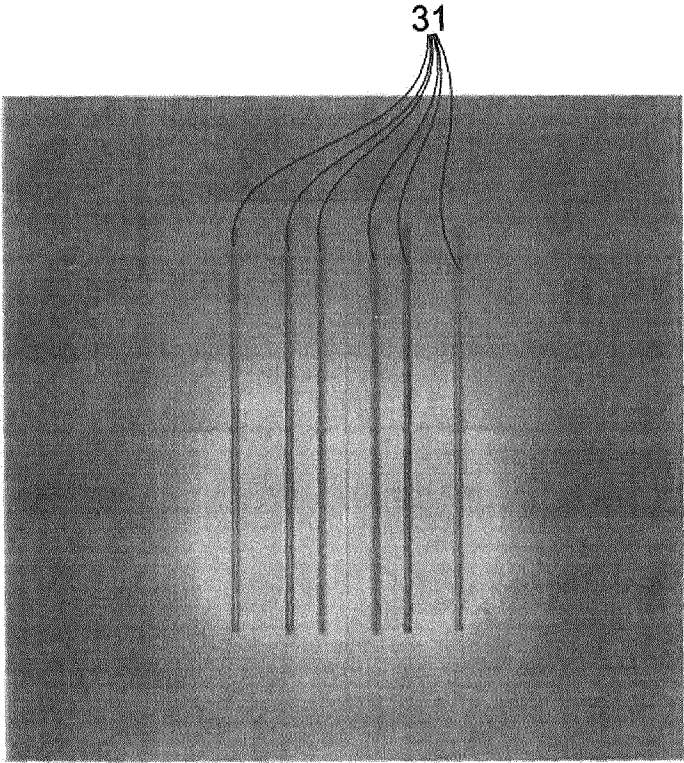


Fig. 4

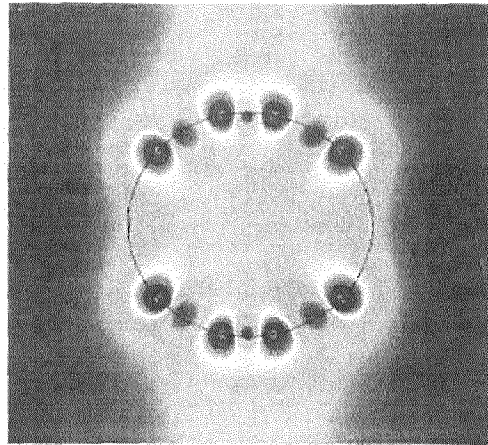


Fig. 5a

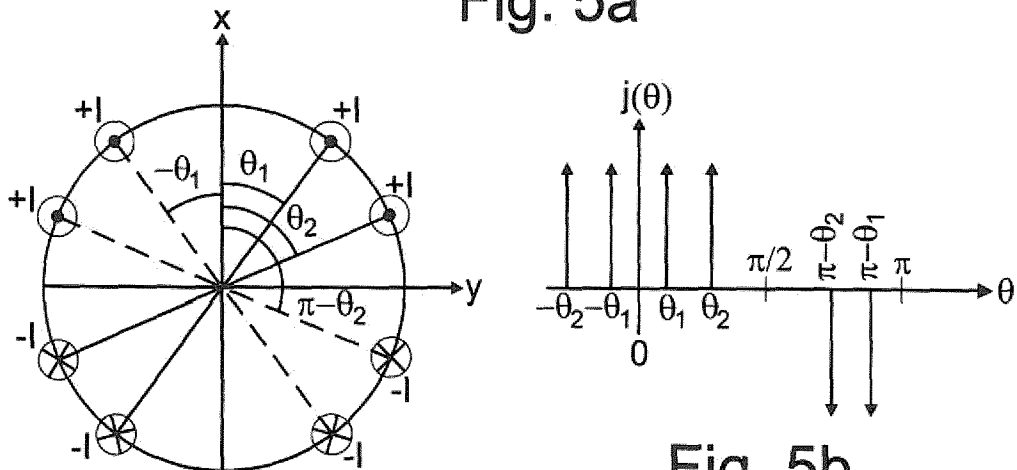


Fig. 5b

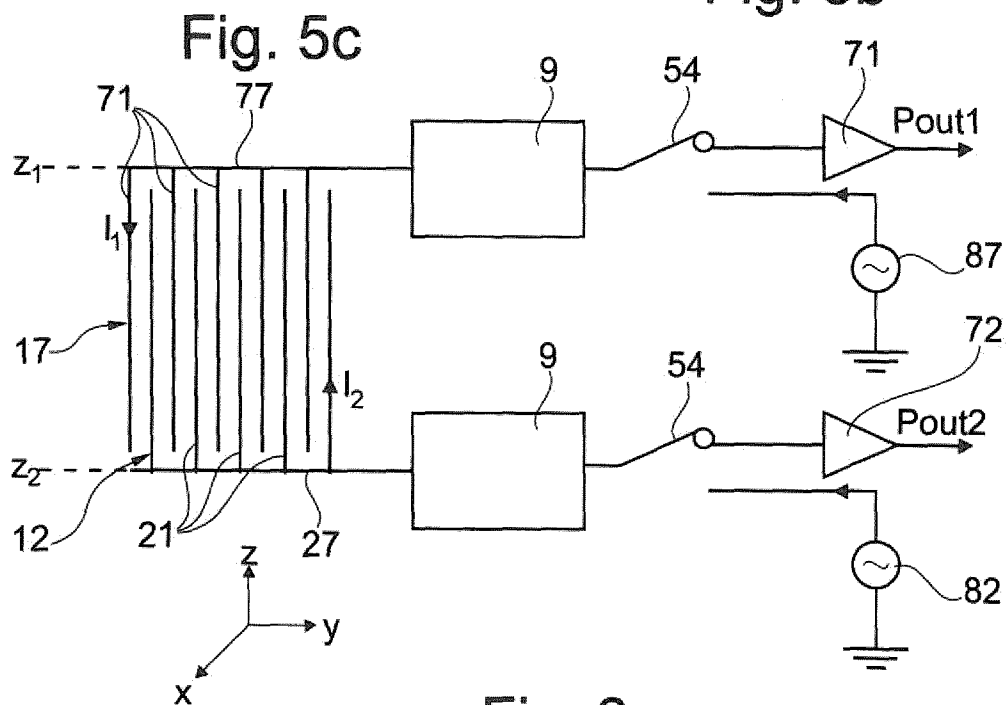


Fig. 6

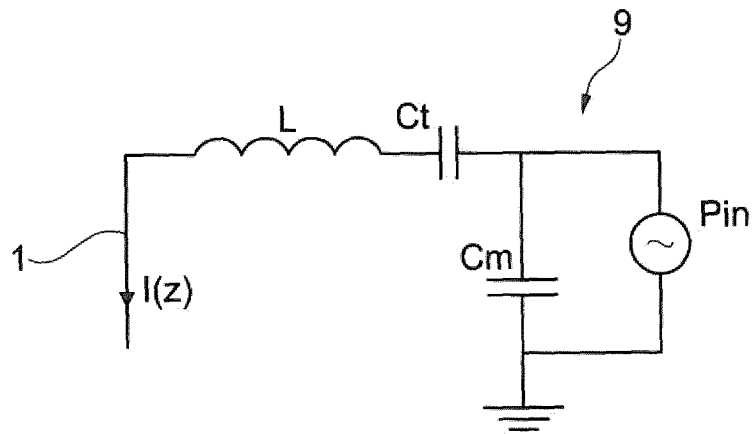


Fig. 7

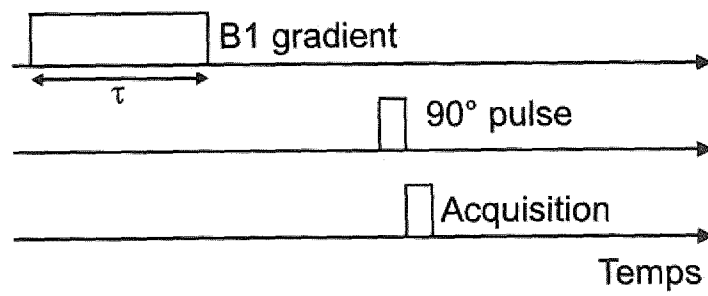


Fig. 8

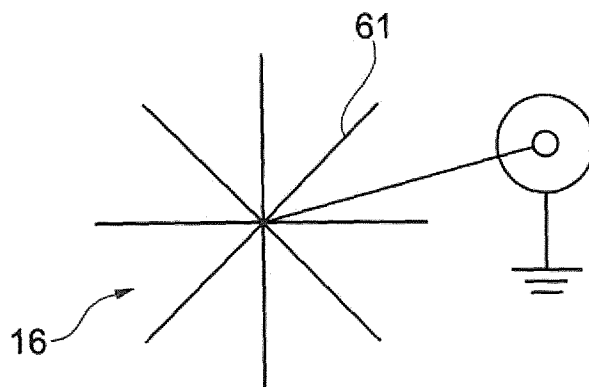
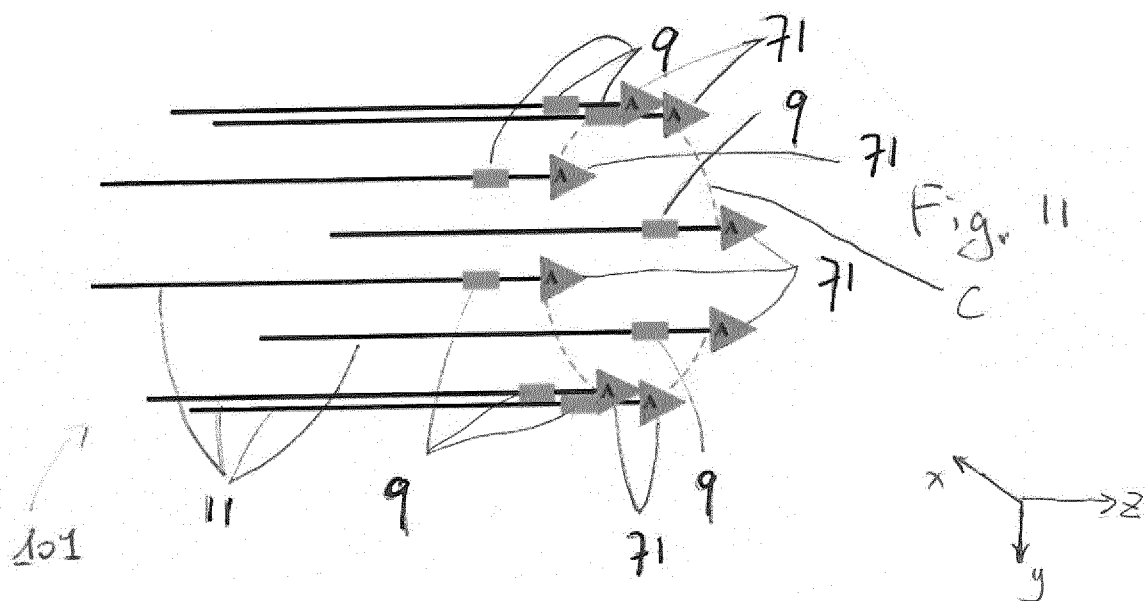
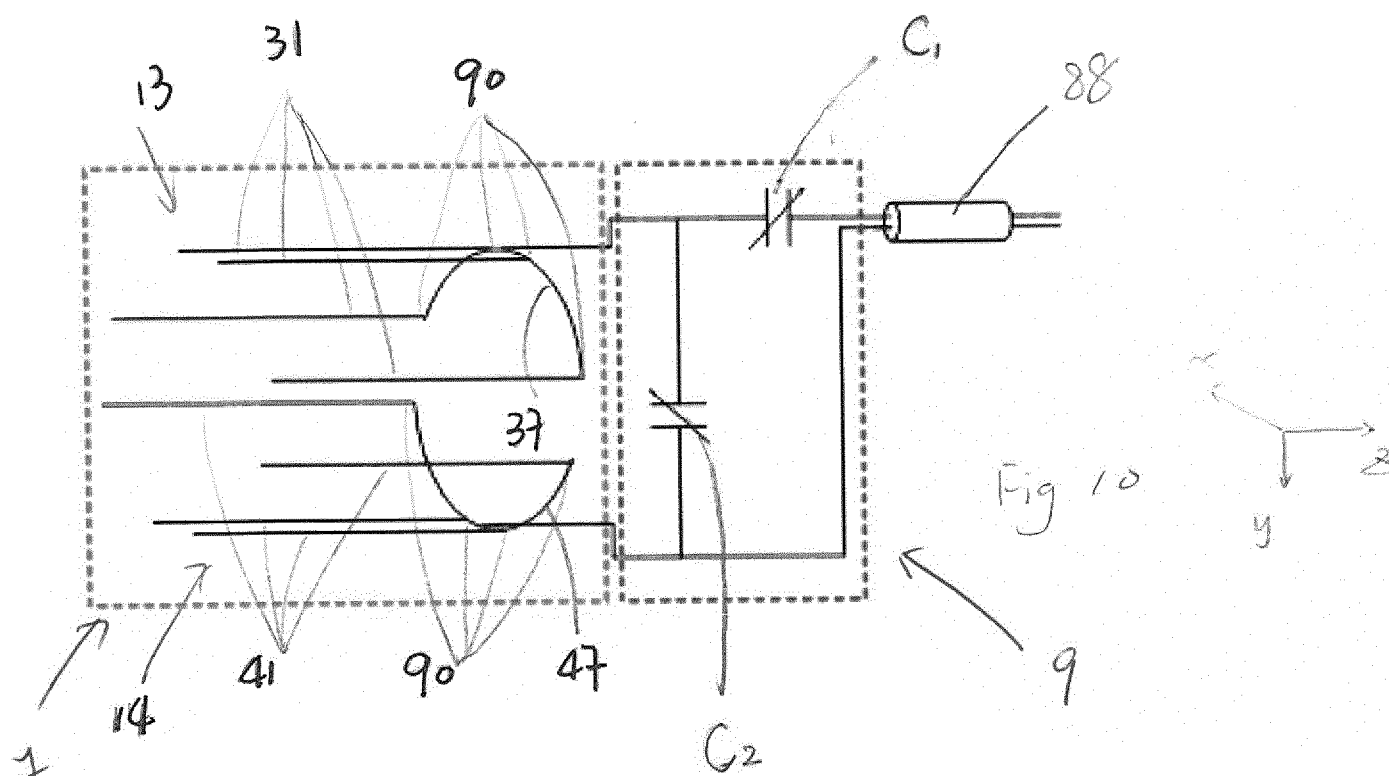
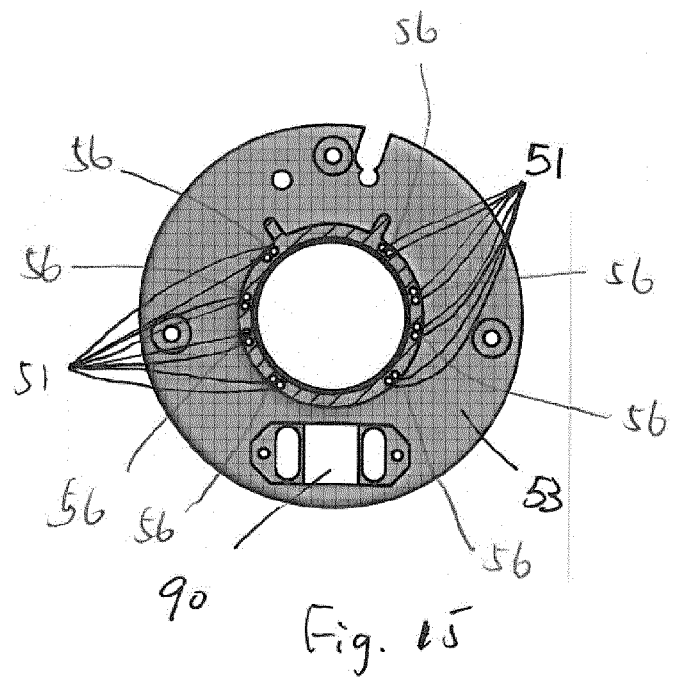
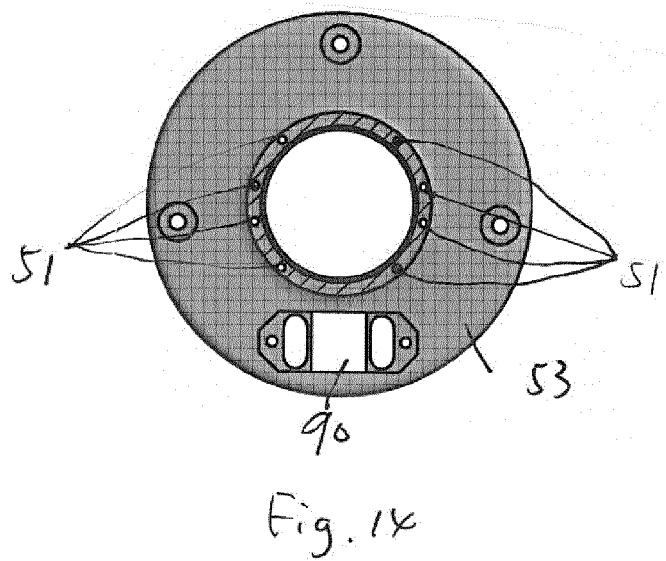
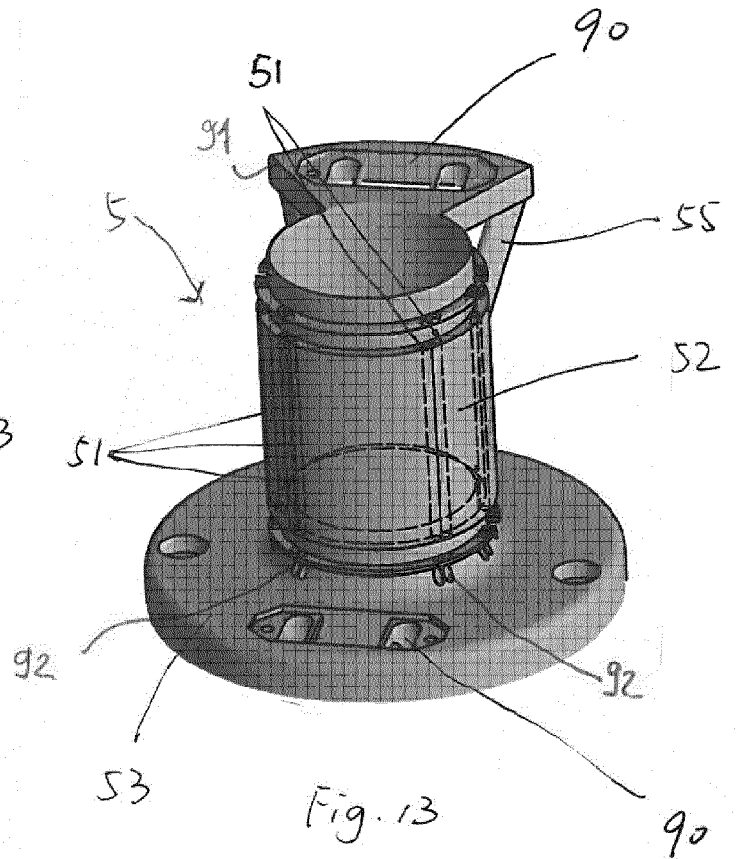
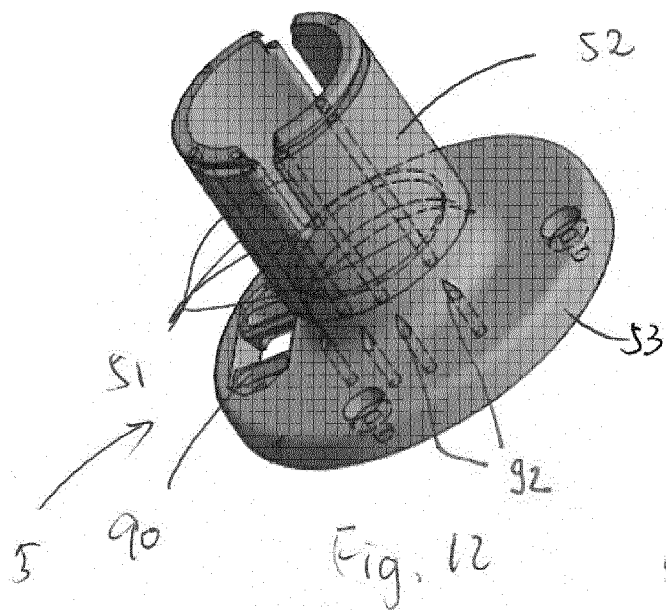


Fig. 9





INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2017/061228

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G01R33/34
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)
G01R

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, BIOSIS, COMPENDEX, EMBASE, INSPEC, IBM-TDB, 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	BOLINGER L ET AL: "A multiple-frequency coil with a highly uniform B1 field", JOURNAL OF MAGNETIC RESONANCE, ACADEMIC PRESS, LONDON, GB, vol. 81, no. 1, 1 January 1989 (1989-01-01), pages 162-166, XP023959451, ISSN: 0022-2364, DOI: 10.1016/0022-2364(89)90274-6 [retrieved on 1989-01-01] cited in the application	1-3, 8-10, 12-15, 20-26
Y	page 162 - page 163 figures 1,2 ----- -/--	4,5



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

12 September 2017

Date of mailing of the international search report

22/09/2017

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

Durst, Markus

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2017/061228

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 2014/218025 A1 (WONG WAI HA [US]) 7 August 2014 (2014-08-07) figure 2 paragraph [0035] - paragraph [0036] -----	1-7,9, 10, 12-18, 20-26
X	SUK-MIN HONG ET AL: "New design concept of monopole antenna array for UHF 7T MRI", MAGNETIC RESONANCE IN MEDICINE., vol. 71, no. 5, 1 July 2013 (2013-07-01), pages 1944-1952, XP055341309, US ISSN: 0740-3194, DOI: 10.1002/mrm.24844	1-3, 11-26
Y	figure 1 section "METHODS" -----	1-5,8-26
X	ALEXANDER J.E. RAAIJMAKERS ET AL: "The fractionated dipole antenna: A new antenna for body imaging at 7 Tesla", MAGNETIC RESONANCE IN MEDICINE., vol. 75, no. 3, 2 May 2015 (2015-05-02), pages 1366-1374, XP055341422, US ISSN: 0740-3194, DOI: 10.1002/mrm.25596	1-3, 11-26
Y	figures 1,3,6 section "INTRODUCTION" section "METHODS" section "DISCUSSION" -----	1-10, 12-26
Y	FR 2 411 478 A1 (EURATOM [LU]) 6 July 1979 (1979-07-06) page 4, line 9 - page 5, line 13 page 12 - page 18 figures 1,2 -----	1-26
Y	US 4 899 108 A (FUJITA MICHIRU [JP] ET AL) 6 February 1990 (1990-02-06) column 4 - column 11; figures 5,6,7,8 column 15 - column 16 -----	1-26
A	Anonymous: "Imagerie par résonance magnétique - Wikipédia", Wikipedia, 27 April 2016 (2016-04-27), XP055403695, Retrieved from the Internet: URL:https://fr.wikipedia.org/w/index.php?t itle=Imagerie_par_résonance_magnétique&old id=125658931#Antennes [retrieved on 2017-09-04] paragraphe "Antennes" ----- -/--	1-26

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2017/061228

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
T	CHRISTOPHE COILLOT ET AL: "The magnetic field homogeneity of coils by means of the space harmonics suppression of the current density distribution", JOURNAL OF SENSORS AND SENSOR SYSTEMS, vol. 5, no. 2, 24 November 2016 (2016-11-24), pages 401-408, XP055341440, DOI: 10.5194/jsss-5-401-2016 the whole document	
A	----- HOULT ET AL: "Rotating frame zeugmatography", JOURNAL OF MAGNETIC RESONANCE, ACADEMIC PRESS, LONDON, GB, vol. 33, no. 1, 1 January 1979 (1979-01-01), pages 183-197, XP023958230, ISSN: 0022-2364, DOI: 10.1016/0022-2364(79)90202-6 [retrieved on 1979-01-01] cited in the application section "ROTATING FRAME ZEUGMATOGRAPHY" figures 1,3 -----	14

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2017/061228

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2014218025	A1	07-08-2014	NONE

FR 2411478	A1	06-07-1979	BE 872654 A1 30-03-1979
			DE 2755357 A1 13-06-1979
			DK 555078 A 13-06-1979
			FR 2411478 A1 06-07-1979
			GB 2012113 A 18-07-1979
			IE 47418 B1 07-03-1984
			IT 1111096 B 13-01-1986
			LU 80621 A1 05-06-1979
			NL 7812102 A 14-06-1979
			US 4231008 A 28-10-1980

US 4899108	A	06-02-1990	DE 3828407 A1 02-03-1989
			GB 2208937 A 19-04-1989
			US 4899108 A 06-02-1990

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/EP2017/061228

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. G01R33/34 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) G01R		
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, BIOSIS, COMPENDEX, EMBASE, INSPEC, IBM-TDB, 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	BOLINGER L ET AL: "A multiple-frequency coil with a highly uniform B1 field", JOURNAL OF MAGNETIC RESONANCE, ACADEMIC PRESS, LONDON, GB, vol. 81, no. 1, 1 janvier 1989 (1989-01-01), pages 162-166, XP023959451, ISSN: 0022-2364, DOI: 10.1016/0022-2364(89)90274-6 [extrait le 1989-01-01]	1-3, 8-10, 12-15, 20-26
Y	cité dans la demande page 162 - page 163 figures 1,2 ----- -/--	4,5
☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents ☒ 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 12 septembre 2017		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale 22/09/2017
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 Durst, Markus

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	US 2014/218025 A1 (WONG WAI HA [US]) 7 août 2014 (2014-08-07) figure 2 alinéa [0035] - alinéa [0036] -----	1-7,9, 10, 12-18, 20-26
X	SUK-MIN HONG ET AL: "New design concept of monopole antenna array for UHF 7T MRI", MAGNETIC RESONANCE IN MEDICINE., vol. 71, no. 5, 1 juillet 2013 (2013-07-01), pages 1944-1952, XP055341309, US ISSN: 0740-3194, DOI: 10.1002/mrm.24844	1-3, 11-26
Y	figure 1 section "METHODS" -----	1-5,8-26
X	ALEXANDER J.E. RAAIJMAKERS ET AL: "The fractionated dipole antenna: A new antenna for body imaging at 7 Tesla", MAGNETIC RESONANCE IN MEDICINE., vol. 75, no. 3, 2 mai 2015 (2015-05-02), pages 1366-1374, XP055341422, US ISSN: 0740-3194, DOI: 10.1002/mrm.25596	1-3, 11-26
Y	figures 1,3,6 section "INTRODUCTION" section "METHODS" section "DISCUSSION" -----	1-10, 12-26
Y	FR 2 411 478 A1 (EURATOM [LU]) 6 juillet 1979 (1979-07-06) page 4, ligne 9 - page 5, ligne 13 page 12 - page 18 figures 1,2 -----	1-26
Y	US 4 899 108 A (FUJITA MICHIRU [JP] ET AL) 6 février 1990 (1990-02-06) colonne 4 - colonne 11; figures 5,6,7,8 colonne 15 - colonne 16 -----	1-26
A	Anonymous: "Imagerie par résonance magnétique - Wikipédia", Wikipedia, 27 avril 2016 (2016-04-27), XP055403695, Extrait de l'Internet: URL:https://fr.wikipedia.org/w/index.php?t itle=Imagerie_par_résonance_magnétique&old id=125658931#Antennes [extrait le 2017-09-04] paragraphe "Antennes" ----- -/--	1-26

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
T	CHRISTOPHE COILLOT ET AL: "The magnetic field homogeneity of coils by means of the space harmonics suppression of the current density distribution", JOURNAL OF SENSORS AND SENSOR SYSTEMS, vol. 5, no. 2, 24 novembre 2016 (2016-11-24), pages 401-408, XP055341440, DOI: 10.5194/jsss-5-401-2016 le document en entier -----	
A	HOULT ET AL: "Rotating frame zeugmatography", JOURNAL OF MAGNETIC RESONANCE, ACADEMIC PRESS, LONDON, GB, vol. 33, no. 1, 1 janvier 1979 (1979-01-01), pages 183-197, XP023958230, ISSN: 0022-2364, DOI: 10.1016/0022-2364(79)90202-6 [extrait le 1979-01-01] cité dans la demande section "ROTATING FRAME ZEUGMATOGRAPHY" figures 1,3 -----	14

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/EP2017/061228

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2014218025	A1	07-08-2014	AUCUN

FR 2411478	A1	06-07-1979	BE 872654 A1 30-03-1979
			DE 2755357 A1 13-06-1979
			DK 555078 A 13-06-1979
			FR 2411478 A1 06-07-1979
			GB 2012113 A 18-07-1979
			IE 47418 B1 07-03-1984
			IT 1111096 B 13-01-1986
			LU 80621 A1 05-06-1979
			NL 7812102 A 14-06-1979
			US 4231008 A 28-10-1980

US 4899108	A	06-02-1990	DE 3828407 A1 02-03-1989
			GB 2208937 A 19-04-1989
			US 4899108 A 06-02-1990
