

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

⑫ Date de dépôt : 12.10.90.

⑬ Priorité :

⑬ Date de la mise à disposition du public de la demande : 17.04.92 Bulletin 92/16.

⑭ Liste des documents cités dans le rapport de recherche : *Se reporter à la fin du présent fascicule.*

⑮ Références à d'autres documents nationaux apparentés :

⑰ Demandeur(s) : *Société Anonyme dite :  
MAGNETECH — FR.*

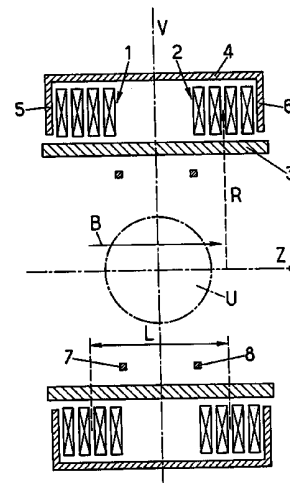
⑱ Inventeur(s) : Taquin Jacques et Sauzade Michel.

⑲ Titulaire(s) :

⑳ Mandataire : Bureau D.A. Casalonga - Josse.

⑤ Système magnétique à champ homogène de grande accessibilité.

⑥ Système magnétique à champ homogène comprenant des moyens générateurs de champ magnétique sous forme de deux éléments annulaires (1, 2) sensiblement identiques et disposés coaxialement l'un à l'autre avec un entr'axe (L) inférieur aux rayons (R) desdits éléments annulaires, un élément (3) de compensation des défauts du champ magnétique, réalisé en matériau ferromagnétique sous forme tubulaire (3) et disposé coaxialement aux éléments annulaires (1, 2) générateurs de champ magnétique (B).



Système magnétique à champ homogène de grande accessibilité.

La présente invention concerne un système magnétique permettant de générer un champ magnétique homogène dans une zone délimitée de l'espace.

Dans de nombreux domaines techniques, il est souvent nécessaire de créer un champ magnétique dont l'homogénéité est primordiale pour réaliser des mesures précises. C'est le cas par exemple pour la technique de l'imagerie par résonance magnétique nucléaire.

Selon cette technique en effet, la qualité des images obtenues d'une partie examinée d'un sujet, dans une zone utile sous un champ magnétique dit principal, est directement liée à l'homogénéité du champ magnétique dans la zone utile.

Concrètement, un appareil d'imagerie par résonance magnétique nucléaire comprend des moyens magnétiques ou électromagnétiques sous forme annulaire et disposés coaxialement les uns aux autres de façon à générer un champ magnétique principal B sensiblement parallèle à l'axe Z commun auxdits moyens magnétiques ou électromagnétiques.

En général, les moyens générateurs du champ magnétique principal sont disposés de façon symétrique par rapport à un plan que l'on appelle "plan médian" perpendiculaire à l'axe Z. Si l'on choisit le point d'intersection entre le plan médian et l'axe Z comme origine d'un repère, le champ magnétique principal B peut être exprimé selon la formule suivante :

$$B(z) = B_0 + B_2z^2 + B_4z^4 + B_6z^6 + \dots + B_{2n}z^{2n} + \dots$$

avec B(z) le champ magnétique principal à la distance z de l'origine du repère selon l'axe Z;  $B_2, B_4, \dots, B_{2n}$  coefficients qui dépendent de la position et de la forme des moyens générateurs de champ magnétique.

Le champ magnétique principal est homogène si il est invariant ou varie de façon négligeable dans la zone utile. Il faut alors pour cela annuler les coefficients  $B_2, B_4$  voire  $B_6$  pour que le champ magnétique principal B(z) soit égal à une constante  $B_0$ , les coefficients d'ordres

supérieurs  $B_8, B_{10}...$  étant suffisamment petits pour être négligeables.

Dans la pratique, l'annulation des coefficients  $B_2, B_4$  et  $B_6$  est réalisée, à l'aide des moyens appropriés pour compenser les défauts du champ magnétique principal.

5           A l'état actuel de la technique, les appareils d'imagerie par résonance magnétique nucléaire comportent des éléments de compensation de champ permettant d'obtenir un champ magnétique homogène dans une zone utile à l'intérieur de l'espace où règne le champ magnétique principal  $B$ . Seule la zone utile est choisie pour  
10 faire des images de bonne qualité. Par exemple, pour examiner la tête d'un patient, il est nécessaire de placer la tête du patient dans la zone utile afin d'obtenir par résonance magnétique nucléaire, des images représentatives des plans de coupe de la tête.

15           Cependant, bien qu'ayant résolu le problème d'homogénéité du champ magnétique principal, la conception structurelle des appareils d'imagerie actuellement connus ne permet pas un accès facile à la zone utile où le champ principal est homogène.

20           En effet, les appareils d'imagerie les plus répandus sur le marché utilisent des aimants supraconducteurs comme moyens générateurs de champ magnétique principal. Dans ce genre d'appareils, l'aimant supraconducteur est réalisé sous forme cylindrique allongée aux extrémités de laquelle sont montées coaxialement des bobines de compensation de champ magnétique. La zone utile est située, dans un tunnel long et étroit à l'intérieur de l'aimant supraconducteur et des  
25 bobines de compensation de champ, à une distance d'environ 1 mètre de chaque extrémité du cylindre. Cette géométrie particulière des appareils d'imagerie à aimant supraconducteur présente un certain nombre d'inconvénients :

30           - certains patients placés dans le tunnel éprouvent une forte angoisse due à la claustrophobie et refusent l'examen (environ 5% de la population examinée);

35           - les images des parties du corps examinées, situées à la limite de la zone utile, présentent souvent un phénomène de distorsion et l'emploi, pour ces parties, d'antennes locales d'émission et de réception nécessaires pour l'imagerie est souvent difficile à cause de

l'étroitesse du tunnel;

- il est nécessaire d'introduire le corps tout entier dans le tunnel même pour obtenir des images des bras ou des jambes d'un patient, donc de construire des aimants supraconducteurs de grandes dimensions qui sont très coûteux alors que le volume à examiner, de dimensions beaucoup plus modestes, ne nécessite pas une large zone utile de champ homogène.

Un autre type d'appareils d'imagerie connu est à aimants résistifs sans fer à bobines. Les moyens générateurs de champ magnétique principal sont dans ce cas constitués, par exemple, par deux paires de bobines résistives parcourues par des courants électriques. Les bobines sont disposées coaxialement les unes aux autres. L'écartement entre les bobines et le diamètre des bobines sont tels qu'elles soient disposées selon une surface sphérique. Ce genre d'appareils d'imagerie présente les mêmes inconvénients d'accessibilité que les appareils à aimants supraconducteurs, puisque la zone utile se trouve au centre d'un tunnel long et étroit pour l'examen des patients.

Il en est de même pour les appareils d'imagerie connus du type à aimant permanent.

Afin de rendre les appareils d'imagerie à résonance magnétique nucléaire plus adaptés aux utilisateurs, notamment dans le domaine médical pour la précision et la vitesse des examens des patients, il importe non seulement d'avoir un champ magnétique principal homogène dans la zone utile, mais également d'offrir un accès facile à la zone utile pour l'examen.

On connaît par la demande de brevet britannique GB 2 184 243, une approche théorique différente par rapport aux systèmes classiques pour la compensation des défauts de champ magnétique principal. Selon ce document, les moyens générateurs du champ magnétique principal sont constitués par une paire de bobines annulaires identiques parcourues par un courant électrique. Une paire d'éléments annulaires en matériau ferromagnétique est disposée coaxialement aux bobines annulaires et symétriquement par rapport au plan médian desdites bobines. De cette façon, les bobines de compensation classiques coaxiales et extérieures des moyens générateurs de champ

sont remplacées par les éléments annulaires ferromagnétiques disposés coaxialement à l'intérieur des moyens générateurs de champ. L'accessibilité de la zone utile se trouve ainsi améliorée.

5 Cependant, la configuration suggérée par la demande de brevet précitée impose un écartement des deux bobines annulaires, génératrices du champ magnétique principal, supérieur au rayon desdites bobines afin de pouvoir réaliser la compensation des défauts de champ magnétique principal à l'aide de la paire d'éléments annulaires ferromagnétiques. Cela signifie que, outre les contraintes et  
10 difficultés techniques, un appareil d'imagerie réalisé selon le document présenterait une zone utile dont l'accessibilité est limitée par le rapport écartement/diamètre des bobines génératrices du champ magnétique principal.

15 La présente invention a pour objet de réaliser un système magnétique permettant d'une part de réaliser un champ magnétique principal homogène dans une zone utile et d'autre part d'offrir une grande accessibilité à la zone utile de champ homogène.

Un autre objet de la présente invention est de minimiser la fuite du champ magnétique créé par les moyens générateurs de champ.

20 L'invention a également pour objet de réaliser des systèmes magnétiques compacts, adaptés pour obtenir des images des membres tels que bras, jambes ou la tête d'un patient sans nécessiter l'introduction du corps entier du patient dans le système.

25 Le système magnétique, selon l'invention, comprend des moyens générateurs de champ magnétique sous forme de deux éléments annulaires sensiblement identiques disposés coaxialement l'un à l'autre. Les éléments annulaires, appelés également aimants, peuvent être constitués par des bobines en fils conducteurs ou supraconducteurs, parcourues par un courant électrique, ou réalisés à  
30 l'aide d'un matériau magnétique permanent ou aimant permanent.

Le système de l'invention comprend un élément en matériau ferromagnétique sous forme tubulaire et disposé coaxialement à l'intérieur ou à l'extérieur des éléments annulaires générateurs de champ magnétique. L'écartement entre les deux aimants annulaires  
35 générateurs de champ est inférieur au rayon desdits aimants. De

préférence, le tube ferromagnétique est disposé symétriquement par rapport au plan médian entre les deux aimants annulaires générateurs de champ, ledit plan médian étant perpendiculaire à l'axe du tube ferromagnétique.

5 D'une manière avantageuse, le tube ferromagnétique est constitué par une pluralité de feuilles en matériau ferromagnétique superposées les unes sur les autres et isolées électriquement les unes des autres.

Le tube ferromagnétique peut être constitué de plusieurs éléments tubulaires disposés bout à bout avec éventuellement des entrefers  
10 remplis ou non d'un matériau isolant.

Selon un mode de réalisation de l'invention, le tube ferromagnétique est placé à l'intérieur des aimants annulaires générateurs de champ. Un cylindre en matériau ferromagnétique, appelé "cylindre de blindage", est disposé de façon coaxiale à  
15 l'extérieur des aimants annulaires générateurs de champ, dans le but de canaliser des lignes de champ magnétique à l'extérieur des aimants générateurs de champ et de diminuer ainsi la fuite du champ magnétique. Le cylindre de blindage peut être complété des deux côtés par deux disques annulaires ferromagnétiques pour enfermer  
20 extérieurement les aimants annulaires et de diminuer ainsi davantage la fuite du champ magnétique. Il en résulte une augmentation du champ magnétique principal à l'intérieur du tube ferromagnétique.

Il est possible de réaliser une compensation supplémentaire de champ en ajoutant au moins un anneau secondaire en matériau  
25 ferromagnétique ou en aimant permanent, disposé coaxialement à l'intérieur du tube ferromagnétique de compensation et symétriquement par rapport au plan médian entre les deux aimants annulaires. Il est également possible d'augmenter l'effet compensateur de l'anneau secondaire ferromagnétique en le munissant d'un bobinage  
30 toroïdal parcouru par un courant électrique d'intensité réglable.

L'invention sera mieux comprise à l'étude de la description détaillée d'un exemple de réalisation pris à titre nullement limitatif et illustré par les dessin annexés, sur lesquels :

la figure 1 est une représentation schématique d'une coupe axiale  
35 du système magnétique de l'invention; et

la figure 2 est une vue en perspective d'un anneau secondaire ferromagnétique pourvu d'un bobinage toroïdal selon l'invention.

5 Tel qu'illustré sur la figure 1, le système magnétique de l'invention comprend deux éléments annulaires 1, 2 générateurs de champ magnétique principal B représenté par une flèche qui est parallèle à un axe horizontal Z. Les éléments annulaire 1, 2 appelés également aimants annulaires sont constitués chacun, dans cet exemple, par quatre galettes de bobine séparées par une certaine distance les unes des autres pour faciliter le refroidissement.

10 Les aimants 1 et 2 peuvent être du type résistif ou supraconducteur. Les aimants 1 et 2 sont disposés coaxialement l'un à l'autre avec leur axe en commun coïncidant avec l'axe horizontal Z. L'écartement L entre les aimants annulaires 1 et 2 correspond à la distance axiale suivant l'axe Z, entre les centres respectifs de section radiale des deux anneaux. Le rayon R de l'aimant annulaire 2 est égal à celui de l'aimant annulaire 1 et correspond à la distance entre l'axe Z et le centre d'une section radiale de l'anneau.

15 Selon l'invention, l'écartement axial L entre les aimants annulaires 1 et 2 est inférieur au rayon R des aimants annulaires 1 ou 2. Il en résulte que les aimants annulaires 1, 2 constituent un ensemble "plat" dans le sens axial.

20 Entre les aimants annulaires 1 et 2, on définit un plan médian vertical V perpendiculaire à l'axe Z. Tous les éléments constitutifs du système magnétique de l'invention présentent de préférence une symétrie par rapport au plan médian V.

25 Coaxialement et intérieurement aux aimants annulaires 1 et 2 se trouve un élément tubulaire 3 en matériau ferromagnétique. Le tube ferromagnétique 3 est d'une longueur légèrement supérieure à la distance entre les deux plans radiaux délimitant extérieurement l'ensemble formé par les aimants annulaires 1 et 2. La présence du tube ferromagnétique 3 joue un rôle prépondérant pour compenser les défauts du champ magnétique B créé par les aimants 1 et 2.

30 A l'extérieur des aimants 1 et 2 et coaxialement à ceux-ci se trouve un cylindre de blindage 4 réalisé également en matériau ferromagnétique. Comme son nom l'indique, le cylindre de blindage 4

permet de centrer les lignes de champ magnétique à l'extérieur des aimants 1 et 2 de façon à limiter la fuite du champ vers l'extérieur. De préférence, la longueur du cylindre de blindage 4 est de même ordre de grandeur que la longueur du tube ferromagnétique 3 de compensation.

5 Aux extrémités du cylindre de blindage 4 peuvent être assemblés deux disques annulaires 5 et 6 également en matériau ferromagnétique qui enveloppe extérieurement et axialement les aimants annulaires 1 et 2, ce qui permet de limiter encore plus efficacement la fuite du champ magnétique.

10 Optionnellement, on ajoute deux anneaux secondaires de compensation 7, 8 disposés à l'intérieur et coaxialement au tube ferromagnétique compensateur 3 et symétriquement par rapport au plan médian V. Les anneaux secondaires 7, 8 contribuent à une compensation plus fine des défauts du champ magnétique principal B.

15 De préférence, les anneaux secondaires de compensation 7, 8 sont réalisés à l'aide d'un matériau ferromagnétique. Il est possible de prévoir un réglage de l'effet compensateur des anneaux secondaires 7, 8 à l'aide d'un bobinage toroïdal 9 autour desdits anneaux secondaires ferromagnétiques (voir figure 2). En faisant passer un courant  
20 électrique dans le bobinage 9 et en réglant le sens et l'intensité du courant, on règle l'effet compensateur des anneaux secondaires 7, 8 de façon active. Le nombre et la position des anneaux secondaires peuvent être variés selon les cas pratiques

25 Le système magnétique ainsi constitué permet de créer un champ magnétique principal B très homogène dans une zone utile U se trouvant centrée au point d'insertion entre le plan médian V et l'axe Z.

30 On peut remarquer que les éléments de blindage 4, 5, 6 en matériau ferromagnétique, tout en minimisant la fuite du champ magnétique vers l'extérieur, permettent ainsi d'augmenter le champ magnétique B à l'intérieur de la zone utile U.

Pour minimiser les effets néfastes dus aux courants de Foucault générés pendant la phase transitoire de la mise sous tension des bobines 1, 2 génératrices du champ magnétique principal par exemple, le tube compensateur 3 est avantageusement réalisé à l'aide de  
35 feuilles de matériau ferromagnétique superposées et isolées

électriquement les unes des autres.

En résumé, grâce à sa structure particulière, le système magnétique de l'invention permet de réaliser un champ magnétique très homogène dans une zone utile beaucoup plus accessible que par rapport aux systèmes existants. Evidemment, le système de l'invention peut trouver son application dans de nombreux domaines techniques qui nécessitent des conditions très strictes pour l'homogénéité du champ magnétique. Dans son application particulière aux appareils d'imagerie par résonance magnétique nucléaire, les avantages découlent immédiatement de la conception même du système :

- l'appareil est beaucoup plus plat axialement avec un tunnel d'examen de faible longueur par rapport au diamètre. De ce fait, les malaises ressenties par certains patients lors de l'examen peuvent être minimisés, puisqu'ils sont moins enfermés par rapport aux systèmes classiques;

- la possibilité de changer le positionnement du patient dans le plan radial pour réaliser des images des parties du corps situées à la limite de la zone utile grâce au grand diamètre du tunnel d'examen, ce qui permet de supprimer les distorsions d'image inévitables dans les systèmes classiques pour ces parties, par exemple les épaules.

- la possibilité également de réaliser des appareils d'imagerie plus compacts, voire portables permettant l'examen local d'un bras, d'une jambe ou de la tête par exemple, sans nécessiter l'introduction du corps entier dans l'appareil contrairement aux systèmes classiques. Cette dernière possibilité ouvre un champ d'application important au développement ultérieur, notamment pour fournir des appareils d'imagerie adaptés pour les besoins spécifiques.

30

## REVENDICATIONS

5 1. Système magnétique à champ homogène comprenant des  
moyens générateurs de champ magnétique sous forme de deux  
éléments annulaires (1, 2) sensiblement indentiques et disposés  
coaxialement l'un à l'autre avec un entr'axe (L), caractérisé par le fait  
qu'il comprend un élément (3) de compensation des défauts du champ  
magnétique, réalisé en matériau ferromagnétique sous forme tubulaire  
et disposé coaxialement à l'intérieur ou à l'extérieur des éléments  
annulaires (1, 2) générateurs de champ magnétique (B), le tube  
10 compensateur ferromagnétique (3) étant symétrique par rapport au plan  
médiann (V) entre les deux éléments annulaires (1, 2) générateurs de  
champ, et que l'entr'axe (L) des deux éléments annulaires (1, 2)  
générateurs de champ magnétique est inférieur aux rayons (R) desdits  
éléments annulaires.

15 2. Système magnétique selon la revendication 1, caractérisé par le  
fait que le tube compensateur de champ (3) est constitué par une  
pluralité de feuilles en matériau ferromagnétique superposées et  
isolées électriquement les unes des autres.

20 3. Système magnétique selon la revendication 1 ou 2, caractérisé  
par le fait que le tube compensateur ferromagnétique (3) se trouve à  
l'intérieur des éléments annulaires (1, 2) générateurs de champ  
magnétique, et que le système comprend en outre un cylindre de  
blindage (4) en matériau ferromagnétique disposé coaxialement et  
extérieurement aux éléments annulaires (1, 2) générateurs de champ  
25 magnétique et symétriquement par rapport au plan médian (V).

30 4. Système magnétique selon la revendication 3, caractérisé par le  
fait qu'il comprend en outre deux disques annulaires (5, 6) en matériau  
ferromagnétique assemblés aux deux extrémités du cylindre de  
blindage (4) de façon à enfermer extérieurement et axialement les  
éléments annulaires (1, 2) générateurs de champ magnétique.

35 5. Système magnétique selon la revendication 3 ou 4, caractérisé  
par le fait que le cylindre de blindage (4) et les disques d'extrémité (5,  
6) sont constitués éventuellement par des feuilles en matériau  
ferromagnétique surperposées et isolées électriquement les unes aux  
autres.

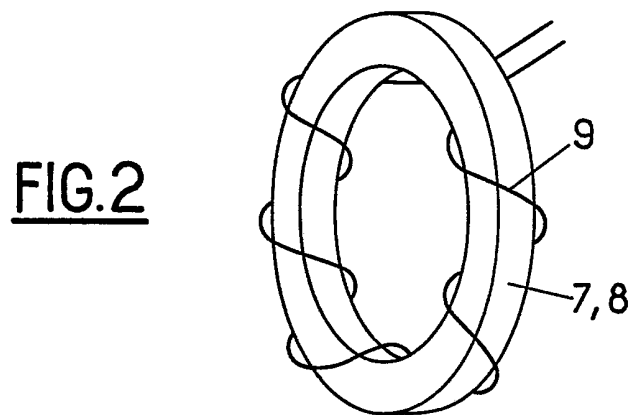
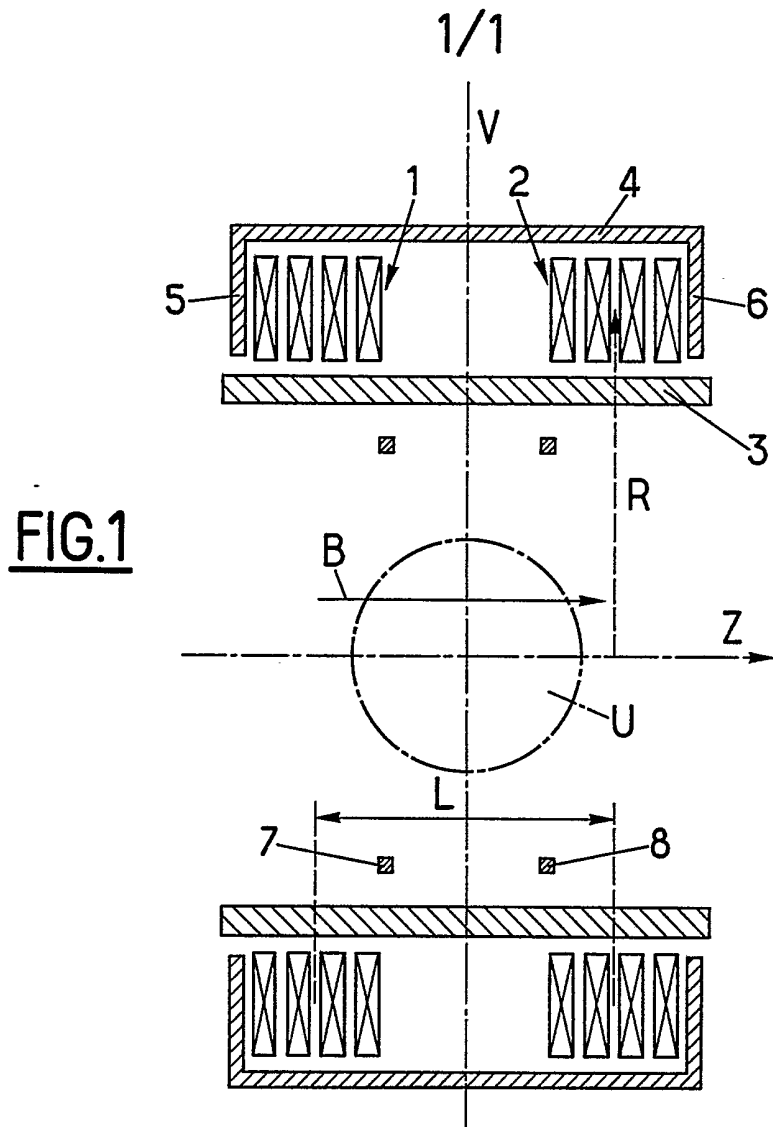
5 6. Système magnétique selon l'une des revendications précédentes, caractérisé par le fait qu'il comprend au moins un anneau secondaire de compensation en matériau ferromagnétique disposé à l'intérieur du tube compensateur (3) coaxialement à celui-ci et symétriquement par rapport au plan médian (V).

7. Système magnétique selon la revendication 6, caractérisé par le fait que l'anneau secondaire de compensation (7, 8) en matériau ferromagnétique est muni d'un bobinage toroïdal (9) parcouru par un courant électrique d'intensité réglable.

10 8. Système magnétique selon l'une des revendications précédentes, caractérisé par le fait qu'il comprend au moins un anneau secondaire de compensation (7, 8) en aimant permanent.

15 9. Système magnétique selon l'une des revendications précédentes, caractérisé par le fait que le tube compensateur ferromagnétique (3) est constitué par plusieurs anneaux disposés bout à bout axialement avec éventuellement des entrefers qui peuvent être constitués par un matériau isolant.

20 10. Système magnétique selon l'une des revendications précédentes, caractérisé par le fait que les éléments annulaires (1, 2) générateurs de champ magnétique sont du type résistif ou supraconducteur ou à aimant permanent.



DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		Revendications concernées de la demande examinée
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	
X	EP-A-0 111 219 (BRUKER ANALYTISCHE MESSTECHNIK GmbH) * Abrégé; figure *	1,9
Y	---	3,4,6,10
Y	EP-A-0 111 218 (BRUKER ANALYTISCHE MESSTECHNIK GmbH) * Abrégé; revendication 8; figures 1,2 *	3,4,10
A	---	1,9
Y	EP-A-0 332 176 (K.K. TOSHIBA) * Page 4, ligne 13 - page 7, ligne 26; figures 4,5 *	6,1,10
X	GB-A-2 219 406 (MAGNEX SCIENTIFIC LTD) * Page 1, lignes 2-35; page 3, ligne 26 - page 4, ligne 8; figure 2 *	1,9,10
A	---	6,7
A,D	GB-A-2 184 243 (PICKER INTERNATIONAL LTD) * Abrégé; page 4, lignes 2-9; figures 3,4 *	1,6,7,10
A	GB-A-2 219 407 (MITSUBISHI DENKI K.K.) * Abrégé; page 7, ligne 3 - page 9, ligne 12; figures 1,3 *	1,9
	--- -/-	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur
29-04-1991		HORAK G. I.
<p><b>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</b></p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul  Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie  A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général  O : divulgation non-écrite  P : document intercalaire</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention  E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.  D : cité dans la demande  L : cité pour d'autres raisons  .....  &amp; : membre de la même famille, document correspondant</p>		

EPO FORM 1503 03.82 (F0413)

DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl.5)

G 01 N  
G 01 R  
H 01 F

INSTITUT NATIONAL  
de la  
PROPRIETE INDUSTRIELLE

**RAPPORT DE RECHERCHE**  
établi sur la base des dernières revendications  
déposées avant le commencement de la recherche

FR 9012629  
FA 450807

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		Revendications concernées de la demande examinée
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	
A	WO-A-8 808 126 (OXFORD MAGNET TECHNOLOGY LTD) * Page 1, ligne 30 - page 5, ligne 2; page 7, ligne 31 - page 9, ligne 12; figures 2-4 * ---	1,2,9
A	MAGNETIC RESONANCE IN MEDICINE, vol. 10, no. 3, juin 1989, pages 373-387, Duluth, MN, US. E.R. ANDREW et al.: "Magnetic shield of magnetic resonance systems" * Sections 1,2,4; figure 3 * -----	1
		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl.5)
Date d'achèvement de la recherche		Examineur
29-04-1991		HORAK G. I.
<p><b>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</b></p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul                      Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie                      A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général                      O : divulgation non-écrite                      P : document intercalaire</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention                      E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.                      D : cité dans la demande                      L : cité pour d'autres raisons                      .....                      &amp; : membre de la même famille, document correspondant</p>		

EPO FORM 1503 03.82 (F0415)