

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 14.11.89.

30 Priorité :

43 Date de la mise à disposition du public de la demande : 17.05.91 Bulletin 91/20.

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

60 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

71 Demandeur(s) : Société dite: THOMSON-CSF — FR.

72 Inventeur(s) : Larat Christian, Nacher Pierre-Jean, Leduc Michèle et Weisbuch Claude.

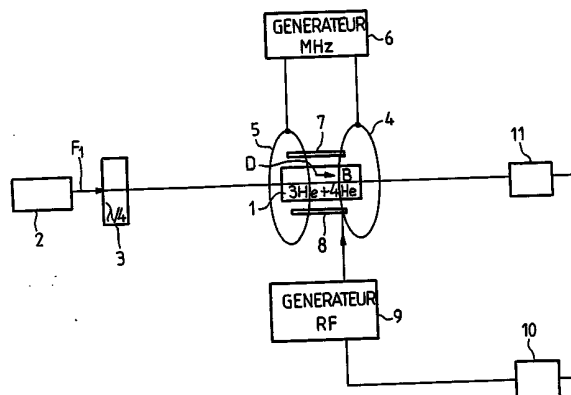
73 Titulaire(s) :

74 Mandataire : Ruellan Brigitte.

54 Cellule de vapeurs atomiques ou moléculaires pour pompage optique et magnétomètre ou gyroscope utilisant une telle cellule.

57 La présente invention concerne une cellule de vapeurs atomiques ou moléculaires pour pompage optique. Le gaz de cette cellule est constitué par un mélange d'hélium-3 et d'hélium-4.

L'invention s'applique notamment aux magnétomètres ou aux gyroscopes à pompage optique d'hélium.



La présente invention concerne une cellule de vapeurs atomiques ou moléculaires pour pompage optique par une onde optique de pompage ainsi qu'un magnétomètre ou gyroscope utilisant une telle cellule.

5 L'utilisation des propriétés de pompage optique de gaz atomique ou moléculaire tel que l'hélium-3 et l'hélium-4 est maintenant bien connue pour la détection des faibles champs magnétiques. Dans le cas de l'hélium-4, on crée par une
10 décharge électrique douce, des atomes dans l'état métastable 2^3S . On excite par une lumière résonnante vers $1,08 \mu\text{m}$ convenablement polarisée une ou plusieurs composantes de la transition 2^3S-2^3P à partir de cet état métastable. On oriente ou aligne ainsi par pompage optique les atomes métastables dans l'état 2^3S . Lorsque l'on emploie de l'hélium-3, qui présente un
15 spin nucléaire non nul, on oriente aussi le spin nucléaire dans l'état fondamental grâce à l'interaction hyperfine électron-noyau et aux collisions échangeant le spin entre atomes dans l'état métastable et dans l'état fondamental. Cette méthode de polarisation de l'hélium est utilisée notamment dans les
20 magnétomètres pour mesurer l'induction magnétique.

Le magnétomètre à hélium-4 est basé sur la mesure de la résonance magnétique électronique dans le champ magnétique à mesurer. La fréquence de résonance donne la valeur du champ à mesurer. La résonance électronique est détectée par la variation
25 du coefficient d'absorption induite sur un faisceau de lumière polarisée circulairement à $1,08 \mu\text{m}$ ou de la polarisation de la lumière de fluorescence.

Le magnétomètre à hélium-3 est basé sur la mesure de la résonance magnétique nucléaire ou de la précession libre des
30 noyaux polarisés dans l'état fondamental. Dans l'état

fondamental, le temps de relaxation nucléaire peut être très long, supérieur à 24 h si l'on utilise une cellule à gaz adéquate, ce qui permet de séparer les opérations d'orientation de spin nucléaire et de mesure de la fréquence de précession de ces spins orientés. L'opération de mesure peut donc être effectuée en continu ou répétée à intervalles réguliers sans avoir à orienter les noyaux. Un tel magnétomètre utilisant l'effet de résonance magnétique nucléaire est décrit notamment dans l'article : "A nuclear free precession magnetometer using optically polarized He³ gas" de R.E. SLOCUM et B.I. MARTON dans IEEE d'avril 1974.

Ces magnétomètres opèrent avec des pressions optimales d'hélium de l'ordre de 1 torr. On peut montrer que la puissance optique nécessaire à l'obtention de forts taux d'orientation ou d'alignement électronique ou nucléaire est de l'ordre de quelques centaines de milliwatts dans les géométries habituelles. L'utilisation de lasers accordés sur l'une des fréquences de transition nécessite donc une puissance relativement élevée, surtout lorsque l'on utilise des lasers semi-conducteurs comme source. D'autre part, même en utilisant une source laser, on n'a pu obtenir que des taux de polarisation nucléaire inférieurs à 70 % à la température ordinaire, dans le cas de l'hélium-3 à quelques dixièmes de torr de pression.

La présente invention a pour objet une nouvelle cellule de vapeurs atomiques ou moléculaires pour pompage optique permettant d'obtenir un taux supérieur de polarisation nucléaire dans l'hélium-3 ou électronique dans l'hélium-4.

La présente invention a encore pour but une nouvelle cellule de vapeur atomique ou moléculaire pour pompage optique permettant d'utiliser une source laser de faible puissance tout en ayant une efficacité de pompage supérieure à celle du pompage direct des métastables de l'hélium-3.

La présente invention a aussi pour but de fournir une nouvelle cellule de vapeurs atomiques ou moléculaires pour pompage optique utilisable dans un magnétomètre dont la

sensibilité a été accrue par rapport aux magnétomètres de l'art antérieur.

5 En conséquence la présente invention a pour objet une cellule de vapeurs atomiques ou moléculaires pour pompage optique par une onde optique de pompage, caractérisée en ce que le gaz de la cellule est constitué par un mélange d'hélium-3 et d'hélium-4.

10 En fait, si la cellule est utilisée dans un magnétomètre du type magnétomètre à hélium-3, le mélange comporte par exemple entre 1/10 et 1/3 d'hélium-3 dans l'hélium-4. Si la cellule est utilisée dans un magnétomètre du type magnétomètre à hélium-4, une proportion plus faible d'hélium-3 pourra être préférée, par exemple de l'ordre de 10%.

15 Dans tous les cas, la source laser est de préférence accordée sur l'une des transitions 2^3S-2^3P de l'hélium-4.

La présente invention a aussi pour objet un magnétomètre à pompage optique d'hélium du type comprenant :

- 20 - une cellule sensible, formée d'une enceinte au moins en partie transparente, contenant un gaz,
- une ou plusieurs sources-laser dirigée vers la cellule, et
- des moyens de mesure de l'induction magnétique dans la cellule, le magnétomètre étant caractérisé en ce que la cellule sensible est une cellule telle que décrite ci-dessus.

25 D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention apparaîtront à la lecture de la description faite ci-après de deux modes de réalisation différents d'un magnétomètre à pompage optique d'hélium utilisant une cellule de vapeurs atomiques ou moléculaires conforme à la présente invention, sa description étant faite avec référence aux dessins 30 ci-annexés dans lesquels :

- la figure 1 est un schéma d'un magnétomètre selon un premier mode de réalisation, et

- la figure 2 est un schéma d'un magnétomètre selon un second mode de réalisation.

Dans les figures pour simplifier la description les mêmes éléments présentent les mêmes références.

De plus, il est évident pour l'homme de l'art que les magnétomètres décrits ci-après sont donnés à titre d'exemple d'utilisation d'une cellule conforme à la présente invention. Bien entendu, la présente invention peut s'appliquer à d'autres types de magnétomètres et également aux gyroscopes comportant comme élément principal une cellule du type décrit dans l'invention.

Sur la figure 1, on a représenté schématiquement un magnétomètre à pompage optique d'hélium dans lequel la mesure de l'induction magnétique revient à celle de la fréquence de résonance électronique de l'hélium-3 ou de l'hélium-4 dans son état métastable.

Comme représenté sur la figure 1, la référence 1 désigne la sonde magnétométrique proprement dite. Cette sonde est constituée, par exemple, d'une cellule réalisée, au moins en partie, en pyrex. Conformément à la présente invention, cette cellule est remplie d'un gaz constitué par un mélange d'hélium-3 et d'hélium-4 sous une pression de l'ordre de un Torr. De préférence, le mélange sera réalisé avec une faible proportion d'hélium-3, par exemple inférieure à 10%.

Comme représenté sur la figure 1, la cellule 1 est éclairée par un faisceau lumineux de pompage issu d'une source lumineuse 2 constituée par une source laser. La source laser 2 est, de préférence, constituée par un laser semiconducteur qui peut être de nature quelconque, monomode ou multimode, à double hétérostructure standard ou à puits quantiques ou toute autre structure. Toutefois, d'autres sources lasers peuvent être envisagées telles que les lasers en LiNbO_3 dopé Nd ou même des lasers LNA. Dans le cas de la présente invention, la source laser 2 est constituée par un laser accordable sur l'une des transitions $2^3\text{S}-2^3\text{P}$ de l'hélium-4. La lumière provenant du laser possède donc une longueur d'ondes d'environ $1,08 \mu\text{m}$. Le faisceau de pompage F_1 issu de la source 2 est polarisé

linéairement et une lame quart d'onde 3 fournit donc un faisceau de pompage polarisé circulairement éclairant la cellule 1.

5 D'autre part, aux deux extrémités de la cellule 1 située sur l'axe de propagation de l'onde de pompage F_1 , deux électrodes 4, 5 ou anneaux d'excitation sont portées à une tension alternative par un générateur 6 haute fréquence fournissant un signal de l'ordre du MHz, ce qui permet d'entretenir une décharge douce nécessaire à l'obtention d'atomes métastables. Sous l'effet de la lumière polarisée
10 circulairement par la lame quart d'onde 3, les atomes métastables d'hélium créés par la décharge sont ainsi orientés longitudinalement selon la direction D du champ magnétique B. Dans ce cas, le taux d'orientation est plus important qu'avec de l'hélium-4 pur, à cause des couplages indirects entre populations Zeeman de l'hélium-4 (2^3S_1) induits par les échanges
15 croisés et le couplage hyperfin.

Dans le mode de réalisation représenté à titre d'exemple, la mesure proprement dite de l'induction magnétique est réalisée de la manière suivante : deux enroulements 7, 8
20 situés dans des plans parallèles à la direction de propagation du faisceau de pompage F_1 et de part et d'autre de ce faisceau sont alimentés par un générateur radio-fréquence 9 et fournissent un champ radio-fréquence. Le champ radio-fréquence ainsi créé perpendiculairement à la composante longitudinale de
25 l'induction magnétique B induit la résonance magnétique électronique de l'hélium-3 ou de l'hélium-4 entre sous niveaux Zeeman 2^3S_1 , lorsque le générateur radio-fréquence 9 est modulé en fréquence autour d'une valeur réglable. Le réglage du champ radio-fréquence peut se faire à partir du rayonnement transmis
30 par la cellule 1.

Pour cela une cellule de détection 11 reçoit le rayonnement transmis par la cellule 1 et permet à l'aide d'un circuit de traitement 10 d'agir sur le générateur radio-fréquence 9.

Le fonctionnement de ce type de magnétomètre est bien

connu de l'homme de l'art. On en trouvera une description notamment dans la demande de brevet européen A-246 146.

On décrira maintenant avec référence à la figure 2 un autre mode de réalisation d'un magnétomètre à pompage optique d'hélium dans lequel la mesure de l'induction magnétique revient à celle de la fréquence de précession de l'aimantation nucléaire de l'hélium-3 par résonance magnétique nucléaire.

Dans ce cas, la cellule de vapeurs atomiques ou moléculaires 1 est, conformément à la présente invention, remplie, comme pour le mode de réalisation de la figure 1, d'un mélange d'hélium-3 et d'hélium-4 avec une proportion d'hélium-3 supérieure à celle de l'appareil précédemment décrit, comprise, par exemple, entre 1/3 et 1/10. Le pompage optique de la cellule 1 est réalisé, comme pour le mode de réalisation de la figure 1, par une source laser 2 émettant une lumière F_1 à une longueur d'onde d'environ 1,08 μm polarisée linéairement sur une lame quart d'onde 3 qui la polarise circulairement avant de l'envoyer sur la cellule 1. La cellule 1 est soumise à une décharge douce créée par un générateur haute fréquence 6 connecté à deux bobines d'excitation 5, 4. Dans ce cas, la décharge crée des atomes d'hélium métastables qui sont orientés par pompage optique dans la direction D. Toutefois, les atomes d'hélium-3 possèdent un spin nucléaire. Dans ce cas, par interaction hyperfine électron-noyau, les atomes d'hélium-3 contenus dans le mélange acquièrent une orientation nucléaire longitudinale dans l'état métastable 2^3S_1 . Cette interaction intervient entre le moment cinétique électronique total et le spin nucléaire des atomes d'hélium-3 dans l'état 2^3S_1 .

Il se produit ainsi des collisions d'échange de métastabilité entre l'ensemble des atomes de l'état excité 2^3S_1 et les atomes d'hélium-3 dans l'état fondamental 1^1S_0 . En fait, les collisions d'hélium-4 dans l'état excité 2^3S_1 et d'hélium-4 dans l'état fondamental ne font rien du point de vue de la polarisation. Par contre, les collisions croisées jouent un rôle :

$$\text{hélium-4 } (2^3S_1) + \text{hélium-3 } (1^1S_0) \text{ ---> hélium-3 } (2^3S_1) +$$

hélium-4 (1^1S_0). Il en résulte un métastable 2^3S_1 de l'hélium-3 orienté électroniquement. Ses orientations électroniques et nucléaires se couplent entre elles sous l'effet du couplage hyperfin. Puis, une nouvelle collision ramène l'hélium-3 (2^3S_1) dans l'état fondamental en conservant l'orientation de son noyau. Avec ce processus mettant en jeu les collisions d'échange de métastabilités croisées entre les deux isotopes, on obtient donc dans la cellule une aimantation nucléaire de l'ensemble des atomes d'hélium-3 dans l'état fondamental. Les atomes ainsi orientés peuvent alors demeurer sensibles au champ magnétique pendant un temps important. En conséquence, la mesure du champ magnétique proprement dit peut se faire par résonance magnétique nucléaire des atomes d'hélium-3 dans l'état fondamental.

Pour réaliser cette mesure on dispose d'une paire de bobines de petite taille 12 et 13 (illustrées en tirets sur la figure 2) placées de part et d'autre de la cellule 1. D'autre part, un générateur de basculement RMN (résonance magnétique nucléaire) 14 est excité brièvement de manière à fournir une fréquence wobulée. Lorsque l'on passe à la fréquence de résonance magnétique, il se produit un basculement bref de l'orientation longitudinale des spins nucléaires des atomes d'hélium-3. Alors qu'ils étaient initialement dans la direction du champ B, ces spins vont se trouver prendre une direction perpendiculaire. Après ce basculement, il se produit une précession libre des spins nucléaires autour de la direction du champ statique, à une fréquence proportionnelle à l'amplitude de l'induction B dans la cellule. Pour mesurer cette fréquence, on prévoit deux autres bobines 15, 16 placées avantageusement en position d'Helmholtz de part et d'autre de la cellule 1, avec un axe commun perpendiculaire à la direction de mesure du champ B. Le signal recueilli aux bornes des bobines 15, 16 est ensuite appliqué à un dispositif de mesure de la fréquence 17 de manière à procéder à une mesure de fréquence de manière connue en résonance magnétique nucléaire. Un fonctionnement détaillé de ce

type de magnétomètre est décrit dans la demande de brevet européen mentionnée ci-dessus.

Conformément à la présente invention la cellule de vapeur atomique ou moléculaire pour pompage optique utilisée est donc une cellule contenant un mélange d'hélium-3 et d'hélium-4.

Exemple de réalisation pratique :

- Expérience préliminaire :

Avec de l'hélium-3 pur (0,44 Torr), on obtient 3,3% de polarisation nucléaire par milliWatt laser. Avec de l'hélium-3 (0,44 Torr) + Hélium-4 (1,32 Torr), on obtient 14% par milliWatt.

- Interprétation :

L'absorption du faisceau de pompage par l'hélium-4 est plus efficace que par l'hélium-3, car les forces d'oscillateur sont plus grandes (il y a 3 sous niveaux de structure fine et non beaucoup plus à cause de la structure hyperfine) ; alors que l'efficacité des mécanismes de transfert d'orientation électronique --> nucléaire reste comparable à ce qu'elle est dans l'hélium-3 pur.

REVENDEICATIONS

1. Cellule de vapeurs atomiques ou moléculaires pour pompage optique par une onde optique de pompage, caractérisée en ce que le gaz de la cellule est constitué par un mélange d'hélium-3 et d'hélium-4.

5 2. Cellule selon la revendication 1, caractérisée en ce que le mélange est réalisé avec de l'ordre de 33% d'hélium-3.

10 3. Cellule selon la revendication 2, caractérisée en ce que, lorsque la cellule est utilisée dans un magnétomètre du type magnétomètre à hélium-3, le mélange comporte environ de 1/10 à 1/3 d'hélium-3.

15 4. Cellule selon la revendication 2, caractérisée en ce que, lorsque la cellule est utilisée dans un magnétomètre du type magnétomètre à hélium-4, ce mélange comporte de l'ordre de 10% d'hélium-3.

20 5. Cellule selon l'une quelconque des revendications 1 et 4, caractérisé en ce que l'onde optique de pompage est fournie par une source laser accordée sur l'une des transitions 2^3S-2^3P de l'hélium-4.

25 6. Magnétomètre à pompage optique d'hélium du type comprenant :

- une cellule sensible, formée d'une enceinte, au moins en partie transparente, contenant un gaz,

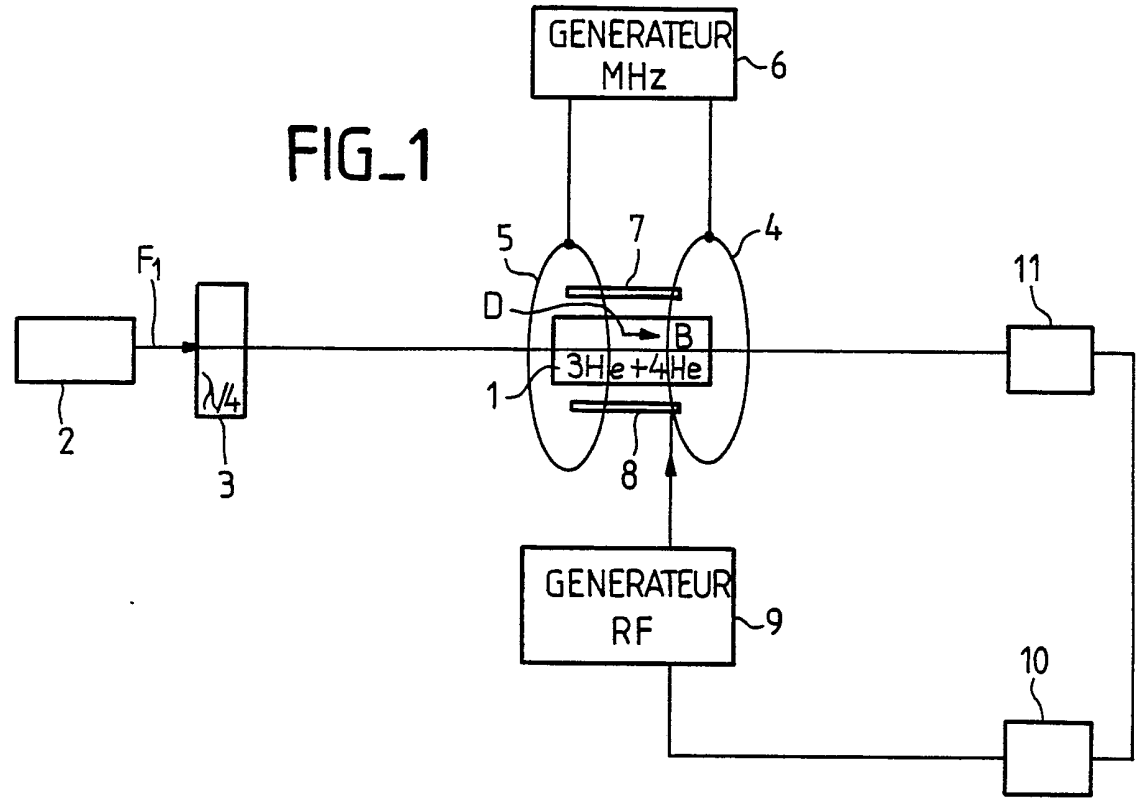
- une ou plusieurs sources lasers dirigées vers la cellule, et

30 - des moyens de mesure de l'induction magnétique dans la cellule, caractérisé en ce que la cellule est une cellule selon l'une quelconque des revendications 1 à 5.

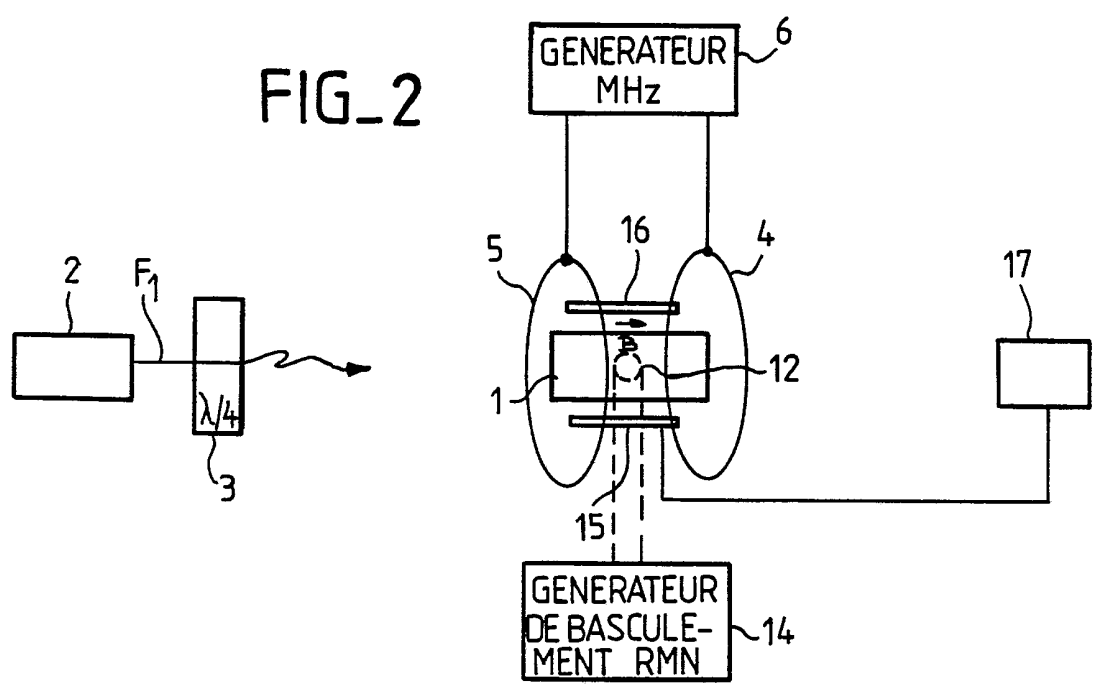
35 7. Gyroscope à pompage optique d'hélium comportant une cellule selon l'une quelconque des revendications 1 à 5.

1/1

FIG_1



FIG_2



INSTITUT NATIONAL
de la
PROPRIETE INDUSTRIELLE

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

FR 8914894
FA 438573

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-0 246 146 (CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE) * Page 11, lignes 7-35; revendications 1,10,14,15 * & FR-A-2 598 518	1,5,6
Y	---	2,3,4,7
Y	US-A-4 814 707 (B.I. MARTON) * Abrégé; colonne 1, lignes 6-46 *	1,2,3
Y	---	
Y	GB-A-2 137 357 (LITTON SYSTEMS INC.) * Page 1, lignes 6-18 * & FR-A-2 543 747	1,7
Y	---	
Y	EP-A-0 288 927 (TEXAS INSTRUMENTS INC.) * Abrégé *	1,4
A	---	
A	GB-A-1 036 307 (TEXAS INSTRUMENTS INC.) * Page 1, lignes 12-43; page 3, lignes 94-127 *	1-3

		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl.5)
		G 01 C G 01 N G 01 R H 01 S
Date d'achèvement de la recherche		Examineur
06-07-1990		HORAK G. I.
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES		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 & : membre de la même famille, document correspondant
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		

EPO FORM 1503 03.82 (P0412)