

12)

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22) Date de dépôt : 20.02.01.

30) Priorité :

43) Date de mise à la disposition du public de la  
demande : 23.08.02 Bulletin 02/34.

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

60) Références à d'autres documents nationaux  
apparentés :

71) Demandeur(s) : KEOPSYS Société anonyme — FR.

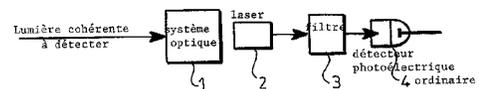
72) Inventeur(s) : STEPHAN GUY et LE FLOHIC MARC.

73) Titulaire(s) :

74) Mandataire(s) : BREESE MAJEROWICZ SIMONNOT.

54) DETECTEUR PHOTOSENSIBLE POUR DES SIGNAUX OPTIQUES COHERENTS DE FAIBLE PUISSANCE.

57) La présente invention concerne un détecteur photo-  
sensible pour des signaux faibles caractérisé en ce qu'il  
comporte un moyen d'entrée constitué par un laser dont la  
sortie est accouplée à un filtre spectral.



DETECTEUR PHOTOSENSIBLE POUR DES SIGNAUX OPTIQUES  
COHERENTS DE FAIBLE PUISSANCE.

La présente invention concerne le domaine des  
photodétecteur, et plus particulièrement des détecteurs  
5 photosensibles pour des signaux optiques cohérents de faible  
puissance.

On connaît dans l'état de la technique des  
équipements comme des photomultiplicateurs ou des diodes à  
avalanche. Ces équipements ne permettent pas la détection de  
10 signaux de puissance inférieure à une limite fixée par le  
rapport entre l'énergie d'un photon et un temps  
caractéristique du détecteur : cette limite est de l'ordre du  
picowatt pour un temps de l'ordre de la nanoseconde et un  
photon d'énergie de l'ordre de  $10^{-20}$  joule. Ces équipements  
15 sont donc des détecteurs d'impulsions et ne permettent pas de  
détecter un photon dont l'énergie est distribué dans un temps  
supérieur au temps caractéristique du détecteur.

Le but de l'invention est de remédier à cet  
inconvenient en proposant un nouveau type de détecteur  
20 photosensible permettant de détecter des niveaux de puissance  
de l'ordre du femtowatt, ou de détecter un photon unique  
caractérisé par un temps de corrélation ou de cohérence  
inférieur à celui autorisé avec les photodétecteurs de l'état  
de la technique.

25 A cet effet, l'invention concerne selon son  
acception la plus générale un détecteur photosensible pour des  
signaux faibles caractérisé en ce qu'il comporte un moyen  
d'entrée constitué par un laser dont la sortie est accouplée  
avec un filtre spectral.

30 Avec un tel détecteur, la totalité de l'énergie  
associée à un photon peut être détectée, contrairement au cas  
des détecteurs de l'état de la technique qui ne sont  
opérationnel que pendant le temps de corrélation intrinsèque  
de l'ordre de la nanoseconde. L'association des opérations  
35 d'amplification résonnante par le laser et de filtrage permet

de gagner un facteur d'environ 10000 sur la sensibilité, par rapport aux détecteurs de l'état de la technique.

Avantageusement, ledit laser présente une fréquence de résonance  $\nu_0$  et une largeur de raie  $\Delta\nu_0$ . La fréquence centrale du signal lumineux à détecter est  $\nu_d$ .  $\nu_0$  doit être très voisine de  $\nu_d$ , typiquement telle que  $|\nu_d - \nu_0| < \Delta\nu_0/4$ .

Selon un mode de réalisation préférentiel, la largeur de raie  $\Delta\nu_d$  du laser est telle que  $\Delta\nu_d$  très inférieur à  $\Delta\nu_0$ .

10 Selon une première variante, le filtre spectral est un filtre interférentiel.

Selon une deuxième variante, le filtre spectral est un système hétérodyne comportant un oscillateur optique local de largeur de raie  $\Delta\nu_1$  de fréquence centrale  $\nu_a + \nu_b$  où  $\nu_a$  désigne la fréquence centrale du signal lumineux à détecter avec  $\Delta\nu_1$  approximativement égal à  $\Delta\nu_d$ .  $\nu_b$  est la basse fréquence du filtre électronique.

L'invention concerne également un démultiplexeur comprenant une pluralité de détecteurs photosensibles comme 20 ci-dessus, mais chacun ayant une fréquence de résonance différente  $\nu_{oi}$ , très proche de l'une des composantes spectrales  $\nu_{di}$  à détecter.

La présente invention sera mieux comprise à la lecture de la description d'un exemple non limitatif de 25 réalisation qui suit, ce référant aux dessins annexés où :

- la figure 1 représente le schéma de principe d'un photodétecteur selon une première variante de réalisation ;
- la figure 2 représente le schéma de principe d'un photodétecteur selon une deuxième variante 30 de réalisation ;
- la figure 3 représente le schéma de principe d'un photodétecteur selon une troisième variante de réalisation ;

- la figure 4 représente le schéma de principe d'un démultiplexeur optique basé sur les propriétés des photodétecteurs ci-dessus.

La figure 1 représente le schéma général de principe d'un exemple de réalisation d'un photodétecteur selon l'invention. Il comprend un étage d'entrée constitué par un système optique, focalisant le signal à détecter sur un laser (2). Une sortie de ce laser est couplée optiquement à un filtre (3) interposé entre le laser (2) et un photodétecteur (4). Ce filtre peut être un interféromètre de Fabry-Perot.

La figure 2 représente une variante de réalisation d'un photodétecteur selon l'invention. Il comprend un étage d'entrée constitué par un système optique, focalisant le signal à détecter sur un laser (2). Une sortie de ce laser est couplée optiquement (7) à une fibre optique puis mélangée à un signal de référence produit par un oscillateur local (5) (laser de référence par exemple). Le montage optique comprend par ailleurs des dispositifs de focalisation (6,7) à l'entrée et à la sortie du laser détecteur (2).

La figure 3 représente le schéma de principe d'un troisième exemple de réalisation d'un photodétecteur selon l'invention. le filtrage optique est réalisé sous la forme d'un réseau photoréfractif (8) dans une fibre optique. Il comprend un étage d'entrée constitué par un système optique, focalisant le signal à détecter sur un laser (2). Une sortie de ce laser est couplée optiquement à un miroir de Bragg par l'intermédiaire d'un isolateur optique. Ce miroir de Bragg doit être caractérisé par une fréquence centrale de réflexion  $\nu_a$  et une bande  $\Delta\nu_a$ .

Un photodétecteur (4) détecte ce mélange et sa sortie est ensuite filtrée de manière électronique, selon la méthode classique de la détection hétérodyne : l'oscillateur local a une fréquence  $\nu_a + \nu_b$  et une largeur de bande  $\Delta\nu_1$  proche ou plus

petite que  $\Delta v_D$ . La détection électronique se fait à travers un filtre centré à la fréquence de battement  $v_B$  et de largeur de bande  $\Delta v_1$ .

Ces équipements réalisent d'abord une amplification du signal électromagnétique à détecter, puis un filtrage spectral du signal ainsi amplifié, avant de procéder à une transformation électrique du signal.

Il conserve la cohérence de la lumière à détecter, y compris dans le cas d'un photon unique multimode.

La sortie du laser (2) est filtrée en fréquence de façon à ne garder que la partie spectrale correspondant à la réponse au signal à détecter.

Le laser détecteur est caractérisé par une fréquence de résonance  $v_0$  et par une largeur de raie  $\Delta v_0$ . Ces grandeurs varient en fonction de la nature du laser : par exemple,  $\Delta v_0$  vaut moins de 1 Hz pour un laser à gaz, 10 kHz pour un laser  $Nd^{3+}$ :YAG, 2, kHz à 200 MHz pour un laser à semiconducteurs. De même, la fréquence de résonance  $v_0$  varie de l'ultraviolet à l'infrarouge.

Les caractéristiques du champ faible à détecter sont :

- une fréquence central  $v_d$
- une largeur de raie  $\Delta v_d$

Les conditions de fonctionnement du laser détecteur sont optimales quand :

-  $|v_d - v_0| < \Delta v_0/10$ , où  $v_0$  désigne la fréquence centrale du laser détecteur (2), et en tout état de cause  $|v_d - v_0| < \Delta v_0/4$ .

-  $\Delta v_d \ll \Delta v_0$ , où  $\Delta v_d$  désigne la largeur de la raie de résonance du laser détecteur (2).

Ces conditions sont déterminantes pour obtenir un rapport signal sur bruit et une discrimination élevée.

Le mécanisme d'amplification dans la bande de résonance du laser est le suivant :

- 5 - Sans signal extérieur, le laser seul excité par l'émission spontanée dont le spectre est très large. Le laser filtre la partie de ce spectre correspondant à sa ou ses bandes de résonance et l'amplifie. Le filtrage est très sélectif, avec une bande de largeur  $\Delta\nu_0$  très petite, mais l'amplification est très importante, de l'ordre de 1 à 10 millions pour la fréquence centrale.
- 10 - Avec un signal extérieur dans cette bande de résonance, le laser détecteur (2) amplifie de la même façon, et on bénéficie donc pour le signal à détecter de ce gain pour chaque composante fréquentielle.

15 L'énergie qui est prise par une composante fréquentielle injectée contribue à diminuer, par effet non linéaire, l'amplification du champ spontané. On assiste à un transfert d'énergie de la raie d'émission normale du laser vers la raie injectée. Cette redistribution spectrale de l'énergie est d'autant plus marquée que le champ injecté

20 augmente. On obtient donc une amplification jusqu'à ce que la saturation apparaisse et toute l'énergie du laser se retrouve dans la distribution spectrale correspondant à celle du champ injecté. On arrive alors au régime de saturation.

25 L'opération de filtrage réalisée par le filtre spectral (3) augmente le rapport signal sur bruit quand le signal à détecter est trop faible pour provoquer la redistribution spectrale susvisée.

30 Le filtre (3) sur la figure 1 peut être constitué par un filtre interférentiel (interféromètre de Fabry-Perot ou à réseau, monochromateur, réseau de Bragg). Il peut être remplacé, comme représenté en figure 3, par un filtre électronique réalisé par une détection hétérodyne entre un oscillateur local de fréquence centrale  $\nu_a + \nu_b$  voisine de celle du signal à détecter et de largeur spectrale  $\Delta\nu_1$  voisine

35 de  $\Delta\nu_a$ . Par exemple,  $\nu_b = 100$  Mhz. Un tel oscillateur local

peut être constitué par un laser (5), ou encore par un signal de référence distribué sur le réseau optique.

5 La figure 4 représente un exemple d'application pour la réalisation de démultiplexeurs destinés aux télécommunications optiques.

10 Un signal multifréquence de faible niveau, par exemple  $10^{-12}$  Watt par canal) diverge à la sortie d'une fibre optique (10). Le signal comporte par exemple 16 composantes fréquentielles  $\nu_{di}$ , avec  $i$  variant de 1 à 16, de largeur spectrale  $\Delta\nu_D$  donnée. On place dans le cône de lumière 16 lasers détecteurs (11) chacun ayant sa fréquence de résonance  $\nu_{oi}$  centrée sur l'une desdites fréquences. Chaque laser va amplifier seulement la composante fréquentielle  $\nu_{di}$  15 correspondant à sa fréquence propre  $\nu_{oi}$ . La sortie de chaque laser (11), après filtrage par un filtre (13) associé, peut ensuite éclairer un détecteur photoélectrique (12).

## REVENDICATIONS

1 - Détecteur photosensible pour des signaux faibles caractérisé en ce qu'il comporte un moyen d'entrée  
5 constitué par un laser dont la sortie est accouplée à un filtre spectral.

2 - Détecteur photosensible selon la revendication 1, caractérisé en ce que ledit laser présente une fréquence de  
10 résonance  $\nu_0$  et une largeur de raie  $\Delta\nu_0$  telle que  $|\nu_a - \nu_0| < \Delta\nu_0/4$ , où  $\nu_a$  désigne la fréquence centrale du signal lumineux à détecter.

3 - Détecteur photosensible selon l'une quelconque  
15 des revendications précédentes, caractérisé en ce que le laser présente une largeur de raie  $\Delta\nu_0$  telle que  $\Delta\nu_0 \gg \Delta\nu_a$  où  $\nu_a$  désigne la largeur de la raie du signal lumineux à détecter.

4 - Détecteur photosensible selon l'une quelconque  
20 des revendications précédentes, caractérisé en ce que le filtre spectral est un filtre interférentiel.

5 - Détecteur photosensible selon l'une quelconque  
des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que le filtre  
25 spectral est une détection hétérodyne comportant :

- un oscillateur optique local de fréquence centrale  $\nu_a + \nu_b$  ou  $\nu_a$  désigne la fréquence centrale du signal lumineux à détecter et  $\nu_b$  la fréquence de battement et de largeur de raie  $\Delta\nu_1$   
30 approximativement égal à  $\Delta\nu_a$ ,
- ainsi qu'un filtre électronique centré à  $\nu_b$  et de largeur spectral  $\Delta\nu_a$ .

6 - Démultiplexeur comprenant une pluralité de  
35 détecteurs photosensibles chacun analogue aux revendications

ci-dessus, mais chacun ayant une fréquence adaptée à l'une des fréquences à détecter.

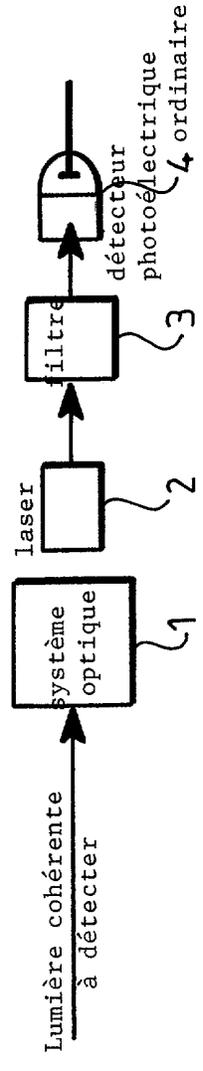


FIG.1

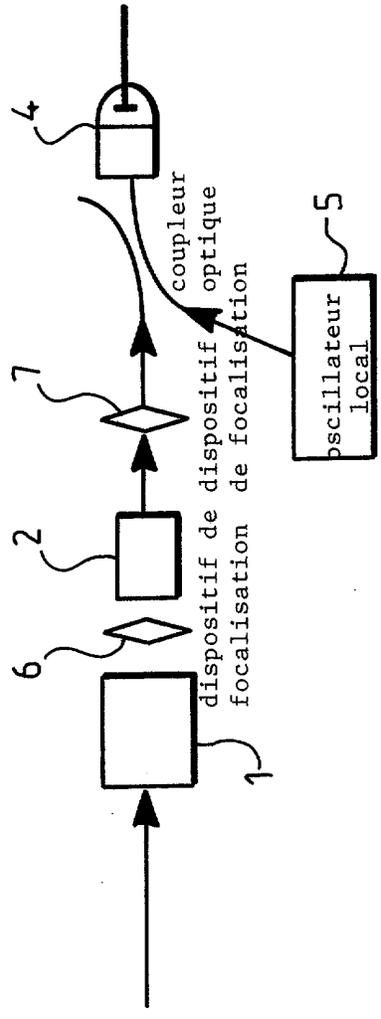


FIG.2

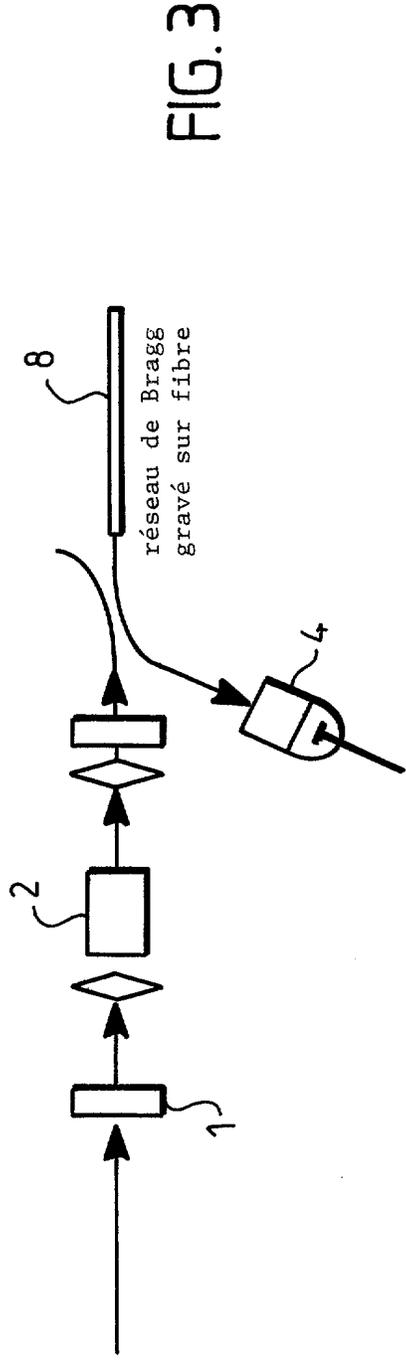


FIG. 3

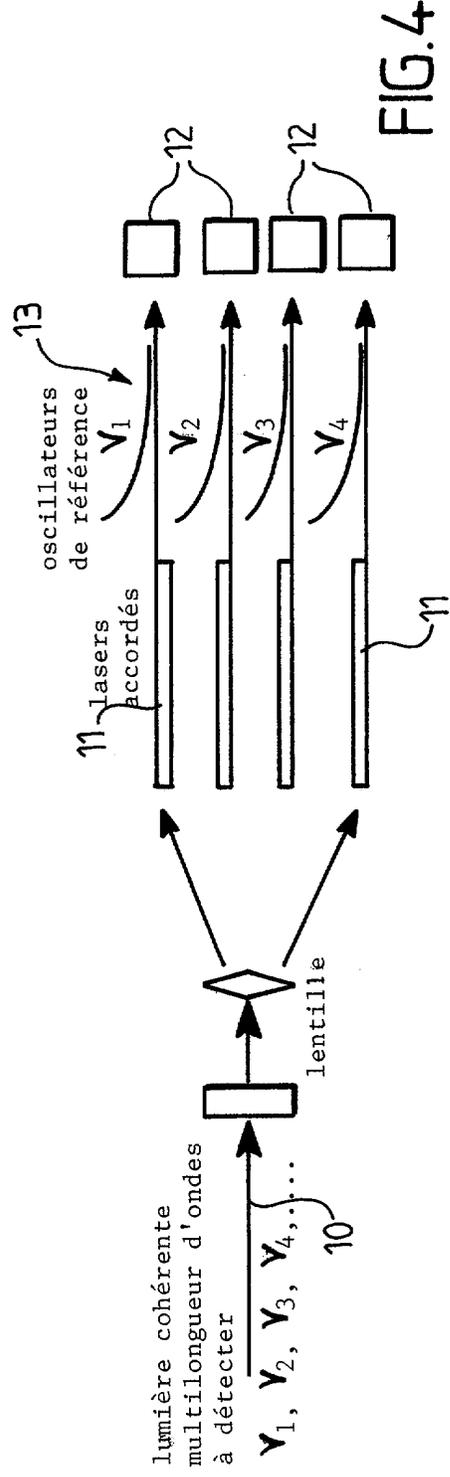


FIG. 4

**RAPPORT DE RECHERCHE**
  
**PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement national

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

FA 602743
   
 FR 0102276

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	US 4 856 899 A (IWAOKA HIDETO ET AL) 15 août 1989 (1989-08-15)	1-3,5	H01L31/16 H01S3/102 H01S3/09 H01S3/13 G02B5/28 H04B10/149 H04J14/02  <b>DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (Int.CL.7)</b>  G02B H04B
Y	* le document en entier *	4,6	
Y	US 5 239 400 A (LIU MING-KANG) 24 août 1993 (1993-08-24)	4	
A	* le document en entier *	1-3,5,6	
Y	US 5 751 830 A (HUTCHINSON DONALD P) 12 mai 1998 (1998-05-12)	6	
A	* le document en entier *	1-5	
A	US 5 784 161 A (SALEWSKI KLAUS DIETER ET AL) 21 juillet 1998 (1998-07-21) * le document en entier *	1-6	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
18 décembre 2001		Boero, M	
<b>CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS</b>			
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire 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			

1

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0102276 FA 602743**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du 18-12-2001

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication		Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 4856899	A	15-08-1989	JP	1769984 C	30-06-1993
			JP	4059796 B	24-09-1992
			JP	62171174 A	28-07-1987
			JP	62198723 A	02-09-1987
			JP	5031930 B	13-05-1993
			JP	62198724 A	02-09-1987
			JP	1769986 C	30-06-1993
			JP	4059797 B	24-09-1992
			JP	63007687 A	13-01-1988
			JP	1814774 C	18-01-1994
			JP	5023511 B	02-04-1993
			JP	63024690 A	02-02-1988
			JP	1838965 C	25-04-1994
			JP	5049055 B	23-07-1993
			JP	63045515 A	26-02-1988
			JP	1814776 C	18-01-1994
			JP	5023512 B	02-04-1993
			JP	63055991 A	10-03-1988
			JP	1794516 C	14-10-1993
			JP	4082191 B	25-12-1992
			JP	63077180 A	07-04-1988
			JP	1814777 C	18-01-1994
			JP	5021496 B	24-03-1993
			JP	63115027 A	19-05-1988
			JP	1804398 C	26-11-1993
			JP	5013399 B	22-02-1993
			JP	62145887 A	29-06-1987
			JP	1764088 C	28-05-1993
			JP	4053114 B	25-08-1992
			JP	62154683 A	09-07-1987
			JP	2583410 B2	19-02-1997
			JP	62156529 A	11-07-1987
			JP	1814769 C	18-01-1994
			JP	5023613 B	05-04-1993
			JP	62156535 A	11-07-1987
DE	3643553 A1	25-06-1987			
DE	3643569 A1	25-06-1987			
DE	3643629 A1	02-07-1987			
GB	2187592 A ,B	09-09-1987			
GB	2185619 A ,B	22-07-1987			
GB	2185567 A ,B	22-07-1987			
US	4912526 A	27-03-1990			
US	4833681 A	23-05-1989			
US	4893353 A	09-01-1990			
US 5239400	A	24-08-1993	WO	9401948 A1	20-01-1994

EPO FORM P0485

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0102276 FA 602743**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du 18-12-2001

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 5751830	A	12-05-1998	AUCUN	
US 5784161	A	21-07-1998	DE 19522262 A1 GB 2305239 A , B	09-01-1997 02-04-1997