

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 05.04.02.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 10.10.03 Bulletin 03/41.

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) : THALES Société anonyme — FR.

72 Inventeur(s) : ROZE THIERRY et TRIN JEAN MARC.

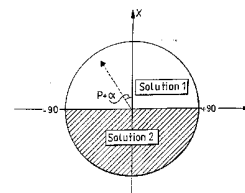
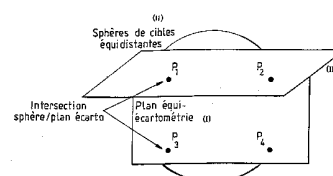
73 Titulaire(s) :

74 Mandataire(s) : THALES "INTELLECTUAL PRO-
PERTY".

54 PROCEDE ET SYSTEME DE LOCALISATION D'UNE CIBLE DANS UN SYSTEME INTERROGATION
REPONSE.

57 Procédé et système pour déterminer la position d'une
cible de détermination de la position d'une cible au moyen
d'une antenne de type IFF, l'antenne ayant une direction de
pointage donnée caractérisé en ce qu'il comporte une étape
où l'on combine la distance D de la cible au porteur, l'altitude
 A de la cible et celle A_{pf} du porteur équipé de l'antenne IFF,
la valeur d'écartométrie de la cible et la direction de pointa-
ge du faisceau de l'antenne pour localiser de manière pré-
cise la cible.

Application à des interrogations IFF en mode C.



La présente invention concerne un procédé et un système permettant notamment de localiser une cible à l'aide d'un porteur équipé d'une antenne de direction de pointage donnée, la cible et le porteur
5 communiquant entre elles par un système d'interrogation-réponse de type IFF (abréviation anglo-saxonne de « Identification Friend or Foe »).

Elle s'applique, par exemple dans le domaine de l'aéronautique, pour un système IFF embarqué, appelé aussi radar secondaire, ayant une fonction de gérer les interrogations-réponses IFF.

10 La localisation et l'identification d'un aéronef distant nécessitent deux radars. Le radar primaire permet de localiser la cible et le radar secondaire, ou IFF, de l'identifier. La corrélation de ces deux informations (localisation et identification) est immédiate lorsque l'antenne primaire et l'antenne secondaire sont couplées. Un tel fonctionnement est couramment
15 utilisé pour les stations sol et lorsque les radars sont à balayage mécanique.

L'évolution technologique dans le domaine des antennes a permis, notamment, de développer des antennes à balayage électronique. L'antenne est alors fixe et la direction de pointage du faisceau est obtenue au moyen de déphaseurs électroniques ayant pour fonction de dévier les
20 faisceaux. Le radar primaire et le radar secondaire sont alors indépendants l'un de l'autre et la corrélation des deux sources d'information devient plus délicate.

La transmission par le système IFF des informations de localisation et d'identification au calculateur principal du porteur, permet de
25 les associer aux informations de localisation obtenues par le radar primaire.

L'objet de l'invention concerne un procédé et un dispositif permettant de localiser une cible dans l'espace, au cours d'un processus d'interrogation de type IFF et en utilisant une antenne de direction de pointage donnée, telle qu'une antenne à balayage électronique.

30 L'invention concerne un procédé pour déterminer la position d'une ou de plusieurs cibles au moyen d'une antenne de type IFF, l'antenne ayant

une direction de pointage donnée. Il est caractérisé en ce qu'il comporte une étape où l'on combine au moins trois paramètres représentatifs de la position de la ou des cibles, de celle du porteur et la direction de pointage du faisceau de l'antenne pour localiser la cible.

- 5 Les trois paramètres utilisés sont par exemple la distance D de la cible au porteur, l'altitude A de la cible et celle A_{pf} du porteur équipé de l'antenne IFF et la valeur d'écartométrie de la cible.

Le procédé peut comporter au moins les étapes suivantes :

- 10
- Déterminer le cercle C_1 résultant de l'intersection de la sphère iso-distance sur laquelle peut se trouver la cible et d'un plan sensiblement parallèle au plan vertical du porteur équipé de l'antenne IFF.
 - Déterminer le cercle C_2 issu de l'intersection du plan iso-altitude de la cible et de la sphère iso-distance,
 - Réaliser l'intersection des deux cercles C_1 et C_2 pour obtenir les
- 15 coordonnées de la cible.

Le mode d'interrogation du porteur vers la cible est par exemple un mode IFF tel que le mode C.

- L'invention a trait aussi à un système de localisation d'une ou de plusieurs cibles par un porteur équipé d'une antenne de direction de pointage
- 20 donnée ou radar secondaire caractérisé en ce qu'il comporte au moins un radar primaire et un système IFF commandant le radar secondaire IFF, adapté à mettre en œuvre au moins une des caractéristiques du procédé exposé ci-dessus.

L'objet de l'invention offre notamment les avantages suivants :

- 25
- Une localisation plus précise de la cible, les systèmes de l'art antérieur ne permettent qu'une localisation théorique et approximative de la cible basée sur la zone de pointage de l'antenne,
 - La possibilité d'obtenir de manière précise le site et l'azimut réel de la cible.

D'autres avantages et caractéristiques de la présente invention apparaîtront mieux à la lecture de la description qui suit en relation aux dessins annexés qui représentent :

- La figure 1 un exemple de système de localisation,
- 5 ➤ La figure 2 différents paramètres utilisés pour déterminer des informations de localisation de la cible,
- La figure 3 les positions possibles de la cible,
- La figure 4 le « repère avion »,
- La figure 5 une solution pour lever l'indétermination de la valeur de x .

10 Afin de mieux faire comprendre l'objet de la présente invention, la description qui suit donnée à titre illustratif et nullement limitatif a trait à un système comportant une cible à localiser et un porteur (avion ou plate-forme) équipé d'une antenne à balayage électronique.

 Les antennes à balayage électronique étant connues de l'Homme
15 du métier, et ne faisant pas l'objet de l'invention, leur architecture ne sera pas détaillée.

 Le procédé s'applique aussi bien pour détecter une cible qui a été identifiée, que pour l'identification d'objets ou d'appareils se trouvant dans une zone donnée de l'espace.

20 Le système de localisation représenté à la figure 1 comporte par exemple les éléments suivants : un porteur 1 ou avion équipé d'une antenne électronique à balayage 2 de direction de pointage donnée constituant le radar secondaire ou IFF ayant notamment pour rôle d'identifier la cible, un radar primaire 3 ayant notamment pour fonction de permettre la localisation
25 de la cible, un système IFF 4 qui commande le radar secondaire. Il comporte aussi un calculateur de mission 5 adapté par exemple à corréliser les informations provenant du radar primaire et du radar secondaire afin d'identifier de manière précise la cible 7 à identifier et un altimètre 6. Le radar primaire 3, le système IFF 4 et l'altimètre 6 sont en liaison avec le calculateur
30 de mission au moyen de liaisons classiques connues de l'Homme du métier.

Le porteur comporte aussi tous les dispositifs habituellement utilisés dans le domaine de l'IFF.

Le calculateur de mission 5 récupère, par exemple, les informations du radar primaire et les informations issues du système IFF. Il corrèle ensuite les informations de localisation issues de ces deux radars pour émettre vers le pilote une information complète sur le plot ou la cible (l'information complète comporte par exemple, la position exacte de la cible, son identification, etc.).

Le système IFF du porteur, par exemple,

- 10 ➤ pointe l'antenne vers la cible définie par le calculateur de mission,
- émet des interrogations spécifiées par exemple par le calculateur de mission telle qu'une interrogation IFF,
- reçoit et décode les réponses de la cible,
- détermine la distance (par calcul du temps de propagation par exemple),
- 15 l'altitude (par exemple à l'aide de la réponse mode C de la cible) et l'azimut (en exécutant les étapes du procédé selon l'invention par exemple) de la cible,
- calcule la localisation de la cible,
- puis transmet ces informations au calculateur de mission.

20 La cible 7 à identifier possède, par exemple, un répondeur IFF non représenté décodant les interrogations reçues et émettant les réponses correspondantes « à la ronde ». Le répondeur est constitué d'un système IFF répondeur, d'antennes émettrices/réceptrices et d'un alticodeur ou altimètre connus de l'Homme du métier.

25 Le système IFF de la cible traduit par exemple l'altitude de la cible en code mode C et répond aux interrogations du porteur.

Pour des raisons de simplification de figure, les différents éléments : radars, antennes, système IFF, calculateurs ne sont pas représentés de façon détaillée.

30 Avant d'explicitier les étapes exécutées dans le procédé, différents paramètres et données utilisés sont schématisés à la figure 2.

- L'angle de la cible est déterminé par exemple à partir de son code de réponse en mode C tel qu'il est défini, par exemple, dans le volume IV – Annexe 10 de l'OACI (juillet 1998).
- L'angle d'écartométrie α est donné par exemple par la mesure de la projection, dans le plan de l'avion, de l'axe de la réponse cible par rapport à l'axe de l'antenne. Ce plan est par exemple défini en fonction de l'axe de l'avion; c'est à dire que le plan (Ox,Oz) est parallèle au plan des ailes de l'avion, le plan (Ox, Oy) est parallèle au plan de la dérive; l'axe Ox est dans la direction du cap vrai de l'appareil.
- La distance D entre le porteur et la cible est déterminée, par exemple, à l'aide du temps écoulé entre l'interrogation émise par le porteur et la réception de la réponse de la cible. Le système IFF du porteur comprenant différentes cartes numériques de traitement (connues de l'Homme du métier) et le radar IFF, effectue par exemple, ces traitements avant d'envoyer vers le calculateur de mission les informations de localisation.
- L'altitude du porteur est par exemple directement donnée par le calculateur de mission à partir des informations obtenues de l'altimètre.

Sur cette figure 2 sont aussi représentées l'azimut β de la cible et le site χ de la cible.

Les étapes du procédé qui suivent sont données comme exemple non limitatif, dans le cas où une cible est détectée par le radar primaire de l'appareil. Le pilote lance, par exemple, une demande d'identification au système IFF, sur cette cible donnée. Le calculateur de mission transmet cette demande en définissant une zone de l'espace sur laquelle cette identification doit être effectuée.

Globalement, le procédé selon l'invention comporte par exemple au moins les deux phases suivantes :

- 1 – pointer l'antenne dans la direction de la zone à interroger. Pour cela, le calculateur de mission, par exemple, désigne la cible ou la zone à interroger,

et le système IFF du porteur vient positionner l'antenne, donc effectuer le pointage de l'antenne (diriger le faisceau d'interrogation vers la cible).

2 – exploiter les informations reçues de la ou des cibles interrogées, afin de localiser ces cibles de manière précise.

- 5 Cette exploitation des données est tout d'abord réalisée au niveau du système IFF porteur, afin de générer les informations de localisation, puis au niveau du calculateur de mission pour corréler les informations de localisation IFF et les informations de localisation du radar primaire.

Les informations utilisées par le système IFF du porteur sont par exemple les suivantes :

- Information distance; la distance correspond à l'ensemble des points équidistants de la cible au porteur, cet ensemble constitue la sphère de localisation de la cible ;
- Information écartométrie; l'ensemble des points associés à une valeur d'écartométrie donnée, constitue par exemple un plan perpendiculaire au plan de l'avion ;
- Information d'altitude; l'ensemble des points pouvant se trouver à une altitude donnée constitue un plan parallèle au plan de l'avion précédemment défini.

20 Positions possibles de la cible

Les positions possibles de cible sont déterminées par exemple à partir de l'intersection des trois figures géométriques suivantes : la sphère de localisation, le plan perpendiculaire au plan de l'avion, le plan parallèle au plan de l'avion. Il y a au maximum deux positions possibles de la cible issues de ces intersections. La figure 3 schématise le plan d'équi-écartométrie (I), une sphère de cibles équidistantes (II), le plan d'équi-altitude (III), leurs intersections et les positions possibles de la cible P_1 , P_2 , P_3 , P_4

Pour déterminer la position exacte de la cible, le système IFF du porteur utilise la direction de pointage P et l'altitude A de la cible pour en déduire la seule position possible pour la cible. Par exemple, la direction de

pointage P permet de sélectionner entre les deux couples $\{P_1, P_3\}$ et $\{P_2, P_4\}$ et la valeur de l'altitude de la cible entre les points P_1 et P_3 ou P_2 et P_4 .

Localisation

Pour réaliser la deuxième phase, localisation de la cible, le
5 procédé exécute par exemple les étapes détaillées ci-après.

Au préalable, quelques notations utilisées sont rappelées.

- Altitude A de la cible : soit une cible située à l'altitude A, où A est exprimée en mètres. L'altitude est donnée par exemple par décodage du code SIF C selon la définition fournie par le volume IV Annexe 10 de l'OACI (Juillet 1998). L'équipement IFF utilise la réponse reçue en mode C pour déterminer l'altitude de la cible, par exemple, sur réception d'un
10 code mode C, il décode par exemple cette réponse et la transforme en altitude.
- Azimut β de la cible : par rapport au porteur, cette cible se trouve à
15 l'azimut β et à la distance D, avec β exprimé en degré et D exprimée en mètres, par exemple. Cette distance D est déterminée par exemple en mesurant le temps entre l'émission de la demande d'interrogation et la réception de la réponse de la cible, par le système IFF du porteur.
- Site de la cible : obtenu par exemple par $\chi = \arcsin((A - A_{pf})/D)$.
- 20 ➤ Altitude de la plateforme : notée A_{pf} .
- Ecartométrie : l'écartométrie α de la cible par mesure de l'angle entre la direction de pointage et la direction de réception de la réponse.
- La direction de pointage P: exprimée en degré par rapport à la direction de la plate-forme.
- 25 Ces différents paramètres sont par exemple repérés dans un « repère avion », schématisé à la figure 4. Ce repère est dans cet exemple donné, avec la plate-forme vue de dos, x donnant la direction de la plate-forme. Les angles sont donnés par exemple dans le sens horaire.

Les étapes de calcul pour déterminer la position de la cible sont par exemple les suivantes :

La distance D de la cible au porteur fournit l'équation définissant la sphère iso-distance sur laquelle peut se trouver la cible :

$$5 \quad x^2 + y^2 + z^2 = D^2 \quad (1)$$

A partir de la valeur de l'écartométrie α , le système IFF du porteur détermine, par exemple, un plan parallèle au plan vertical de la plate-forme qui donnera dans le plan(x,y), par intersection avec la sphère (1) précédemment définie, un cercle C_1 .

10 Soit z_e la projection de la position de la cible sur l'axe X :

$$Z_e = D \sin(\alpha + P) \text{ quelque soit la valeur du couple } (x, y) \quad (2)$$

P correspond à la direction de pointage.

le système d'équation obtenu à partir des relations (1) et (2) est :

$$x^2 + y^2 + z^2 = D^2$$

$$15 \quad Z_e = D \sin(\alpha + P)$$

Le système IFF du porteur déduit des relations (1) et (2), l'équation du cercle C_1 représentatif de l'intersection prémentionnée

$$x^2 + y^2 = D^2 (1 - \sin^2(\alpha + P)) \quad (3)$$

De façon similaire, le système IFF du porteur peut obtenir dans le plan (x,z),
20 un plan correspondant au plan iso-altitude de la cible.

Soit y_a la projection de la position de la cible sur l'axe y :

$$y_a = (A - A_{pt}) \text{ quelque soit le couple } (x, z) \quad (4)$$

D'où le système d'équation déduit des relations (1) et (4) par le système IFF

$$x^2 + y^2 + z^2 = D^2$$

$$25 \quad y_a = A - A_{pt}$$

qui en déduit le cercle C_2 résultant de l'intersection avec la sphère initiale

$$\begin{aligned} x^2 + z^2 &= D^2 - (A - A_{pf})^2 \\ &= D^2 - y_a^2 \end{aligned} \quad (5)$$

- 5 Pour obtenir les coordonnées possibles par exemple de la cible, le système IFF réalise l'intersection des deux cercles C_1 et C_2 définis par les relations (3) et (5).

$$\begin{aligned} &\begin{cases} y^2 + x^2 = D^2(1 - \sin^2(\alpha + P)) \\ x^2 + z^2 = D^2 - y_a^2 \end{cases} \\ &\Rightarrow \begin{cases} y^2 = D^2(1 - \sin^2(\alpha + P)) - x^2 \\ z^2 = D^2 - y_a^2 - x^2 \\ x^2 + y^2 + z^2 = D^2 - x^2 \end{cases} \\ &\Rightarrow D^2 - D^2 \sin^2(\alpha + P) - x^2 + D^2 - y_a^2 - x^2 + x^2 = D^2 \\ &\Rightarrow x^2 = D^2(1 - \sin^2(\alpha + P)) - y_a^2 \end{aligned} \quad (6)$$

Les coordonnées de la cible dans le repère avion sont déterminées par les relations suivantes :

$$\begin{aligned} &\begin{cases} z = D \sin(\alpha + P) \\ y = A - A_{pf} \end{cases} \quad (2) \\ &\begin{cases} x = \pm \sqrt{D^2(1 - \sin^2(\alpha + P)) - y_a^2} \end{cases} \quad (4) \end{aligned}$$

10

Pour lever l'indétermination vis-à-vis de x , le système IFF exécute par exemple l'étape supplémentaire suivante :

$$\begin{cases} \text{Si } -90^\circ < (P + \alpha) < +90^\circ \Rightarrow x = \sqrt{D^2(1 - \sin^2(\alpha + P)) - y_a^2} \\ \text{Si } \begin{cases} (P + \alpha) > +90^\circ \\ (P + \alpha) < -90^\circ \end{cases} \Rightarrow x = -\sqrt{D^2(1 - \sin^2(\alpha + P)) - y_a^2} \end{cases}$$

- 15 Cette indétermination est représentée sur la figure 5 qui représente les deux solutions correspondantes.

REVENDICATIONS

- 1 – Procédé de détermination de la position d'une ou de plusieurs cibles au moyen d'une antenne de type IFF, l'antenne ayant une direction de pointage donnée caractérisé en ce qu'il comporte une étape où l'on combine au moins
- 5 trois paramètres représentatifs de la position de la ou des cibles, de celle du porteur et la direction de pointage du faisceau de l'antenne pour localiser la cible.
- 10 2 – Procédé selon la revendication 1 caractérisé en ce que les trois paramètres sont la distance D de la cible au porteur, l'altitude A de la cible et celle A_{pf} du porteur équipé de l'antenne IFF et la valeur d'écartométrie de la cible.
- 15 3 – Procédé selon l'une des revendications 1 et 2 caractérisé en ce qu'il comporte les étapes suivantes :
- Déterminer le cercle C_1 résultant de l'intersection de la sphère iso-distance sur laquelle peut se trouver la cible et d'un plan sensiblement parallèle au plan vertical du porteur équipé de l'antenne IFF.
 - 20 ➤ Déterminer le cercle C_2 issu de l'intersection du plan iso-altitude de la cible et de la sphère iso-distance,
 - Réaliser l'intersection des deux cercles C_1 et C_2 pour obtenir les coordonnées de la cible.
- 25 4 – Procédé selon la revendication 3 caractérisé en ce que les coordonnées de la cible sont données par les relations suivantes

$$\begin{cases} z = D \sin(\alpha + P) \\ y = A - A_{pf} \\ x = \pm \sqrt{D^2(1 - \sin^2(\alpha + P)) - y_a^2} \end{cases} \quad \begin{matrix} (2) \\ (4) \\ (6) \end{matrix}$$

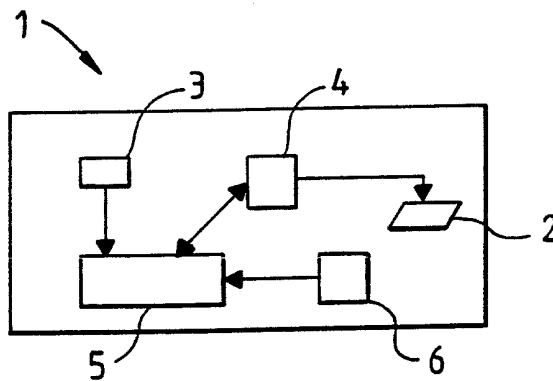
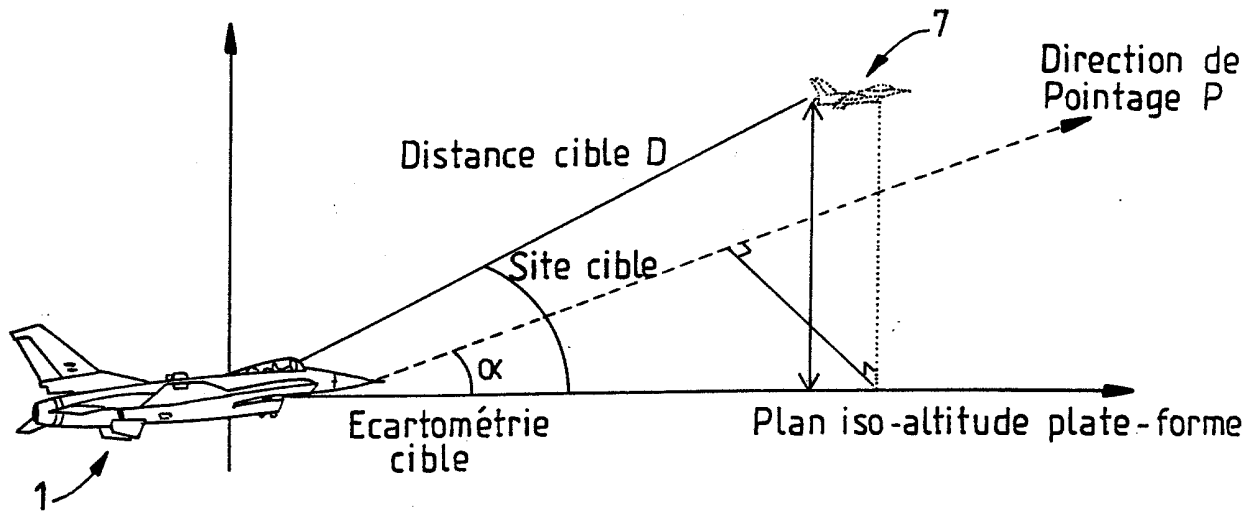
5 – Procédé selon la revendication 4 caractérisé en ce qu'il comporte une étape où l'on précise les coordonnées en x de la manière suivante

$$\begin{cases} \text{Si } -90^\circ < (P+\alpha) < +90^\circ \Rightarrow x = \sqrt{D^2(1-\sin^2(\alpha+P)) - y_a^2} \\ \text{Si } \begin{cases} (P+\alpha) > +90^\circ \\ (P+\alpha) < -90^\circ \end{cases} \Rightarrow x = -\sqrt{D^2(1-\sin^2(\alpha+P)) - y_a^2} \end{cases}$$

6 – Procédé selon l'une des revendications 1 à 5 caractérisé en ce que le mode d'interrogation du porteur vers la cible est un mode IFF, mode C.

7 – Système de localisation d'une ou de plusieurs cibles par un porteur équipé d'une antenne de direction de pointage donnée ou radar secondaire (2) caractérisé en ce qu'il comporte au moins un radar primaire (3) et un système IFF (4) en liaison avec le radar secondaire (2) et adapté à mettre en œuvre au moins une des caractéristiques du procédé selon les revendications 1 à 6.

FIG.1



α = Angle d'écartométrie
 β = Azimut de la cible
 χ = Site de la cible

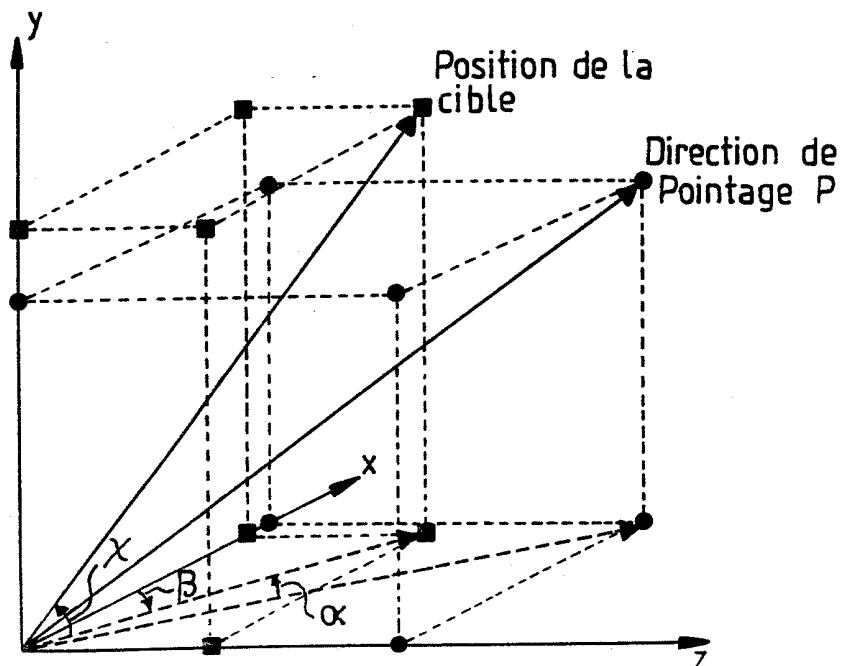


FIG.2

FIG. 3

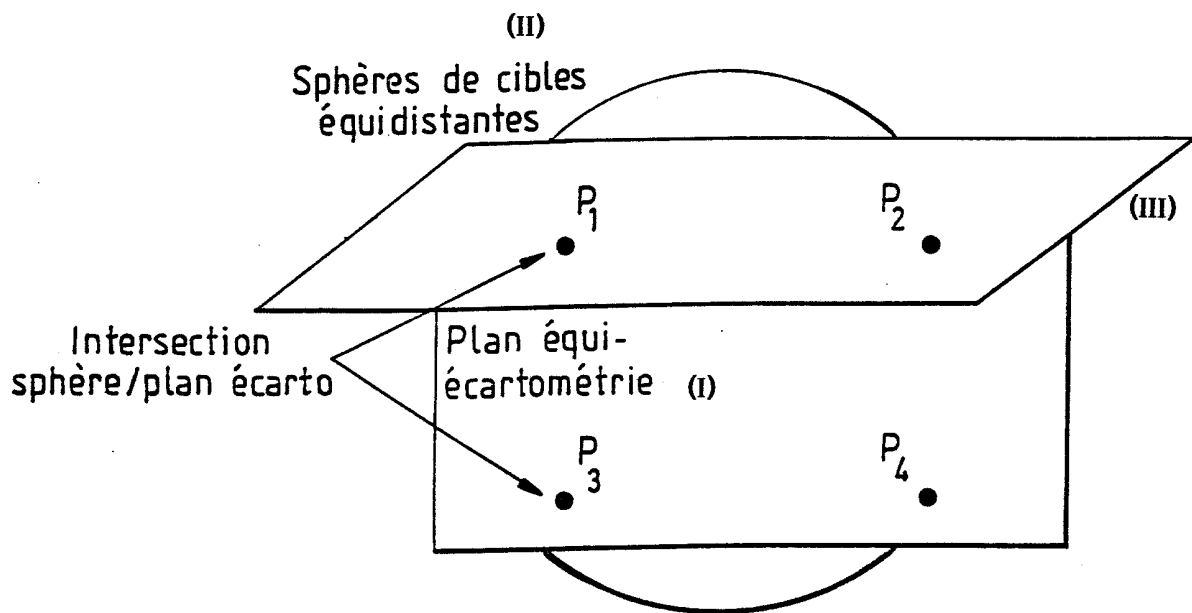


FIG. 4

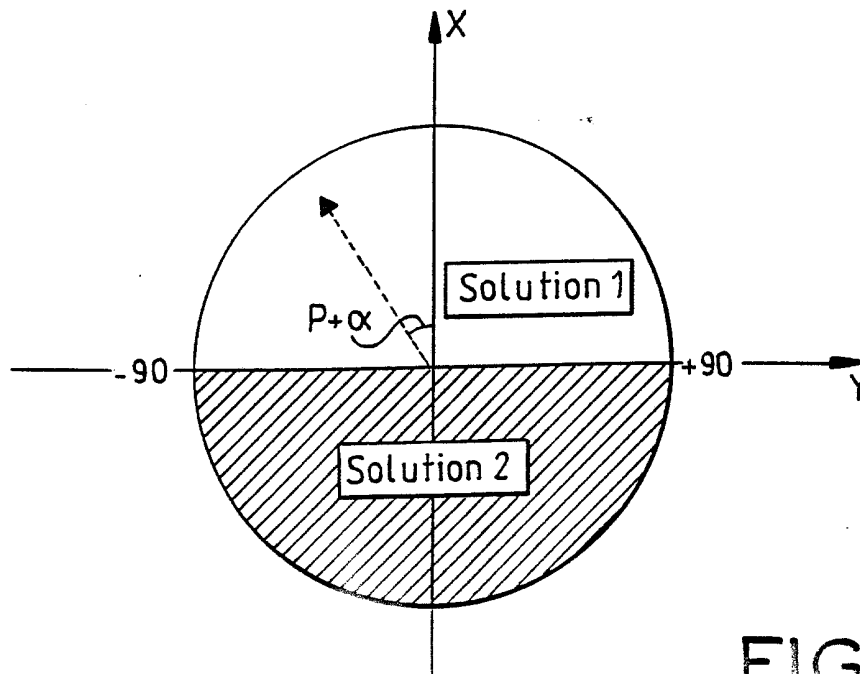
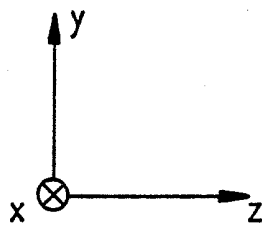


FIG. 5

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		
Y	US 6 222 480 B1 (BRANDAO RUY L ET AL) 24 avril 2001 (2001-04-24) * colonne 1, ligne 1 - ligne 57; figures 8,9 * * colonne 4, ligne 61 - colonne 5, ligne 43 * * colonne 10, ligne 66 - colonne 11, ligne 10 * * colonne 15, ligne 27 - colonne 17, ligne 24 *	1,2,7	
A	--- VAN SICKLE G A: "Allied air identification" TACTICAL COMMUNICATIONS CONFERENCE, 1996., PROCEEDINGS OF THE 1996 FORT WAYNE, IN, USA 30 APRIL-2 MAY 1996, NEW YORK, NY, USA, IEEE, US, 30 avril 1996 (1996-04-30), pages 365-370, XP010201871 ISBN: 0-7803-3658-5 * le document en entier *	1,2,7	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (Int.CL.7)
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
16 décembre 2002		Mercier, F	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS 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			

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0204266 FA 620834

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 16-12-2002
 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
FR 2730567	A	14-08-1996	FR 2730567 A1	14-08-1996
			CA 2169408 A1	15-08-1996
			DE 69611110 D1	11-01-2001
			DE 69611110 T2	31-05-2001
			EP 0727675 A1	21-08-1996
			ES 2152498 T3	01-02-2001
			US 5677694 A	14-10-1997
US 6278396	B1	21-08-2001	US 6262679 B1	17-07-2001
			US 2002080059 A1	27-06-2002
			AU 751278 B2	08-08-2002
			AU 6604400 A	10-11-2000
			WO 0065373 A2	02-11-2000
US 4782450	A	01-11-1988	AUCUN	
US 6222480	B1	24-04-2001	EP 1185880 A2	13-03-2002
			WO 0057204 A2	28-09-2000
			US 2002159977 A1	31-10-2002
			US 6313783 B1	06-11-2001