

19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

11) N° de publication : **2 924 829**  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

21) N° d'enregistrement national : **07 08597**

51) Int Cl<sup>8</sup> : G 05 D 1/02 (2006.01), G 08 G 5/06, 5/04

12)

## DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22) Date de dépôt : 11.12.07.

30) Priorité :

43) Date de mise à la disposition du public de la  
demande : 12.06.09 Bulletin 09/24.

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) : AIRBUS FRANCE Société par  
actions simplifiée — FR.

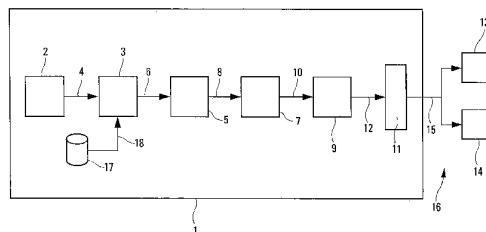
72) Inventeur(s) : VILLAUME FABRICE et SCACCHI  
PIERRE.

73) Titulaire(s) :

74) Mandataire(s) : CABINET BONNETAT.

54) PROCÉDE ET DISPOSITIF DE GENERATION D'UNE TRAJECTOIRE DESTINEE AU ROULAGE AU SOL D'UN  
AERONEF.

57) Le dispositif (1) comporte des moyens (3) pour extraire automatiquement des points de référence caractérisant des éléments successifs d'un trajet que l'aéronef doit suivre, et des moyens (7) pour déterminer automatiquement, à partir desdits points de référence, un ensemble de points d'intersection desdits éléments, qui sont tels que, lorsqu'ils sont reliés entre eux successivement, ils forment ladite trajectoire.



FR 2 924 829 - A1



La présente invention concerne un procédé et un dispositif de gé-  
5 nération d'une trajectoire destinée au roulage au sol d'un aéronef.

La présente invention s'applique au roulage d'un aéronef sur le sol,  
en particulier d'un avion, civil ou militaire, de transport de passagers ou de  
marchandises (fret), ou encore d'un drone (aéronef sans pilote). Elle  
concerne, plus particulièrement, la génération d'une trajectoire au sol, qui  
10 est telle que l'aéronef puisse être guidé, manuellement ou automatique-  
ment, le long de cette trajectoire sur un domaine aéroportuaire tel qu'un  
aérodrome ou un aéroport.

Dans le cadre de la présente invention, on entend :

- par roulage au sol, tout type de roulage possible d'un aéronef, tel que le  
15 roulage sur une piste d'atterrissage au cours de phases d'atterrissage et  
de décollage, ou le roulage sur des voies de circulation ou sur des aires  
de manœuvres, notamment ;
- par trajectoire au sol, le chemin suivi par l'aéronef sur le domaine  
aéroportuaire, incluant en particulier les pistes de décollage et  
20 d'atterrissage, les voies de circulation ou de relation (taxiways), les ra-  
quettes de retournement, les zones d'attente, les barres de stop, les  
positions d'arrêt (stand), les aires de manœuvre, et les aires de par-  
king ; et
- par guidage automatique, l'action d'un dispositif faisant partie inté-  
25 grante de l'aéronef et capable d'assurer, partiellement ou totalement,  
c'est-à-dire sans aide ou avec l'aide partielle d'un humain, la conduite  
d'un aéronef au sol.

Actuellement, le pilote (humain) contrôle les mouvements latéraux  
de l'aéronef au sol à l'aide d'organes de pilotage manuels (par exemple un

volant permettant l'orientation de la roue du train d'atterrissage avant ou un palonnier de direction), le long d'une trajectoire au sol. Ces organes permettent de commander des actionneurs capables d'influencer les mouvements latéraux de l'aéronef, en particulier par l'intermédiaire de l'orientation de la roue du train d'atterrissage avant (et éventuellement l'orientation des trains arrière), de la gouverne de direction de la dérive, et de l'utilisation dissymétrique des freins et des moteurs.

La trajectoire au sol est généralement fournie au pilote, par exemple par l'intermédiaire de moyens de radiocommunication ou d'un autre moyen usuel tel qu'une liaison de transmission de données numériques, par un contrôleur aérien ou un contrôleur au sol, mais elle peut aussi, dans certains cas, être choisie librement par le pilote.

La trajectoire est définie sous la forme d'une succession d'éléments du domaine aéroportuaire, et indique un chemin permettant, de rejoindre, d'un point ou région du domaine aéroportuaire, un autre point ou région dudit domaine.

On appelle élément du domaine aéroportuaire, toute portion du domaine, désignée ou non par une appellation, et identifiée comme partie distincte et délimitée du domaine. Un élément peut éventuellement en recouvrir un ou plusieurs autres. On désigne en particulier, par élément, les pistes de décollage et d'atterrissage, les voies de circulation ou de relation (taxiways), les raquettes de retournement, les zones d'attentes, les barres de stop, les positions d'arrêt (stand), les aires de manœuvre et les aires de parking.

Connaissant la trajectoire au sol à suivre, le pilote agit sur les organes de pilotage, afin de contrôler les mouvements de l'aéronef au sol (la vitesse longitudinale et les déplacements latéraux de l'aéronef). Il le fait aussi pour suivre la trajectoire de telle sorte que l'ensemble des parties de l'aéronef en contact avec le sol (les roues des trains avant et arrière) reste

en permanence sur le revêtement prévu pour le roulage des aéronefs. Pour la plupart des aéroports accueillant des avions de transport civils ou militaires, on entend par "sol" les parties recouvertes de macadam et prévues à cet effet. Finalement, l'objectif du pilote est de gérer une trajectoire de sorte qu'aucune des parties de l'aéronef en contact avec le sol ne se retrouve à un moment donné sur une portion du domaine aéroportuaire non prévue pour le roulage de l'aéronef, en particulier des portions recouvertes d'herbe, de terre ou de sable, ou des portions uniquement prévues pour le roulage de véhicules plus légers (voitures, camions).

Actuellement, le pilote dispose uniquement d'une carte (papier ou affichée informatiquement par un système de visualisation approprié dans le cockpit) et d'instructions du contrôle aérien/sol décrivant la trajectoire à suivre, pour guider manuellement l'aéronef d'un point à un autre du domaine aéroportuaire.

Par conséquent, en l'absence d'une représentation de la trajectoire à suivre exploitable par les systèmes informatiques de l'aéronef :

- le guidage latéral de suivi de trajectoire ne peut pas être réalisé automatiquement par un dispositif de l'aéronef ;
  - le pilote ne peut pas disposer d'une représentation visuelle de la trajectoire (par exemple sur un système d'affichage de l'aéronef) qui lui permettrait de l'aider à guider manuellement l'aéronef selon l'axe latéral ;
- et
- ce guidage présente une charge de travail très importante.

La présente invention a pour objet de remédier aux inconvénients précités. Elle concerne un procédé permettant d'engendrer une trajectoire destinée au roulage au sol d'un aéronef, en particulier d'un avion de transport, sur un domaine aéroportuaire.

A cet effet, selon l'invention, ledit procédé est remarquable en ce que :

- a) on reçoit un trajet comprenant une suite d'éléments du domaine aéroportuaire que l'aéronef doit emprunter successivement, un élément représentant une portion distincte et délimitée du domaine aéroportuaire et étant caractérisé par au moins deux points de référence qui représentent des points fixes dudit domaine aéroportuaire ;
- 5 b) on extrait automatiquement d'un ensemble de points de référence du domaine aéroportuaire les coordonnées géographiques des points de référence correspondant aux éléments dudit trajet que l'aéronef doit emprunter ;
- 10 c) on transpose automatiquement les coordonnées géographiques ainsi extraites, dans un repère métrique lié au domaine aéroportuaire ;
- d) à partir desdites coordonnées ainsi transposées, on détermine automatiquement l'ensemble des points d'intersection des éléments successifs dudit trajet qui sont tels que, lorsqu'ils sont reliés entre eux successivement, ils forment une trajectoire auxiliaire ;
- 15 e) on met en forme automatiquement ladite trajectoire auxiliaire, au moins en déterminant un virage à chacun desdits points d'intersection, de manière à engendrer ladite trajectoire destinée au roulage au sol de l'aéronef ; et
- 20 f) on fournit cette trajectoire à au moins un système utilisateur.

Ainsi, grâce à l'invention, on engendre une trajectoire qui peut être suivie par l'aéronef lorsqu'il doit parcourir le trajet précité en roulant au sol. Cette trajectoire peut, notamment, être fournie à un système utilisateur tel qu'un système de pilotage automatique qui permet de faire suivre

25 à l'aéronef, de façon automatique, cette trajectoire au sol. Cette dernière peut également être fournie à un système utilisateur tel qu'un système d'affichage susceptible d'engendrer une représentation visuelle de cette trajectoire sur un moyen de visualisation approprié, cette représentation

visuelle pouvant être utilisée par le pilote pour l'aider à guider manuellement en pilotage latéral l'aéronef le long de ladite trajectoire au sol.

Dans le cadre de la présente invention, on entend par point de référence du domaine aéroportuaire un point fixe du domaine, de position géographique connue avec précision, intègre, dont la définition et les caractéristiques sont communes à l'aéronef et au contrôle aérien/sol, et dont un ensemble permet de représenter de manière non ambiguë et schématique les caractéristiques essentielles et suffisantes des éléments du domaine aéroportuaire de manière à permettre, en particulier, le pilotage automatique d'un aéronef au sol. Chaque élément du domaine aéroportuaire est caractérisé par au moins deux points de référence, formant une ligne brisée (succession de segments de droite reliés entre eux). L'ensemble de ces points de référence forme un réseau couvrant tout ou partie du domaine aéroportuaire.

De plus, de préférence, chaque élément (du domaine aéroportuaire) est typé, c'est-à-dire qu'il est caractérisé, outre les coordonnées de ses points de référence, par au moins une information supplémentaire permettant de différencier les éléments entre eux, par exemple le type de chaque élément. A titre d'exemple, les éléments peuvent être caractérisés par les types suivants : "piste", "taxiway" (voies de relation), "parking", "stand" (barres de stand), "stop" (barres de stop), "manœuvre" (raquette de retournement par exemple), "point de passage", et "sortie rapide" (voie de relation attenante à une piste et permettant de dégager celle-ci à une vitesse élevée).

Par ailleurs, de façon avantageuse, à l'étape e), on vérifie sur ladite trajectoire que chaque virage présente une courbure maximale qui est inférieure à une courbure seuil prédéterminée, afin d'éviter des virages trop serrés qui ne pourraient pas être suivis par l'aéronef.

Dans un mode de réalisation préféré, ladite trajectoire est formée d'une succession de virages et de segments de droite, et chaque virage est un arc de cercle dont le rayon dépend des segments arrivant au point d'intersection correspondant. Dans ce cas, de préférence, ladite trajectoire est définie sous forme d'une succession de courbes de Bézier cubiques, les courbes de Bézier cubiques étant susceptibles (de façon usuelle) de définir des virages et des segments de droite.

En outre, de façon avantageuse, à l'étape d), on vérifie, pour chaque point d'intersection, que l'angle formé par deux segments arrivant à ce point d'intersection est inférieur à une valeur de seuil prédéterminée, afin d'éviter de construire des virages trop courts ou des points de rebroussement.

Par ailleurs, dans un mode de réalisation particulier, à l'étape e) :

- on supprime tous les artéfacts existant sur la trajectoire auxiliaire. Dans le cadre de la présente invention, un artéfact est une anomalie apparaissant lors de la construction d'un virage, lorsque deux points d'intersection sont trop proches pour laisser la place à deux virages séparés par un segment. Cette anomalie a pour conséquence l'apparition de deux points de rebroussement au niveau du segment situé entre ces virages ; et/ou
- on réalise, le cas échéant, une concaténation des segments de ladite trajectoire auxiliaire. Si, dans la trajectoire auxiliaire, plusieurs éléments successifs sont des segments de droite, ces segments de droite sont alignés (sinon ils seraient séparés par des virages). Dans ce cas, il est possible de simplifier la trajectoire, en concaténant ces segments de droite successifs en un seul segment de droite.

En outre, avantageusement, à l'étape f), on fournit ladite trajectoire sous forme d'un tableau qui liste les éléments successifs de la trajectoire, et qui présente, pour chacun de ces éléments :

- un premier signe caractéristique (comprenant par exemple des valeurs de longitude et de latitude) qui permet de définir sa position dans la trajectoire ;
- un second signe caractéristique permettant de le caractériser, par exemple en indiquant son type tel que précité ;
- sa longueur ; et
- sa courbure maximale.

Une telle présentation de la trajectoire permet de la rendre plus cohérente et plus facilement exploitable par des systèmes utilisateurs de l'aéronef.

Par conséquent, grâce à l'invention, et comme précisé davantage ci-dessous :

- on dispose d'une représentation de la trajectoire au sol à suivre, qui est exploitable par plusieurs systèmes de l'aéronef ;
- cette trajectoire au sol peut servir de support à la génération d'un profil de vitesse associé et adapté à cette dernière ;
- cette trajectoire au sol permet la mise en œuvre d'un guidage automatique ou semi-automatique de l'aéronef selon l'axe latéral ;
- cette trajectoire au sol peut être adaptée aux caractéristiques particulières de l'aéronef, en particulier à son empatement longitudinal ; et
- cette trajectoire au sol permet de fournir au pilote une représentation visuelle de la trajectoire à suivre, afin par exemple de l'aider lors du guidage latéral de l'aéronef en mode manuel.

La présente invention concerne également un dispositif de génération d'une trajectoire destinée au roulage au sol d'un aéronef, en particulier d'un avion de transport civil ou militaire, sur un domaine aéroportuaire.

Selon l'invention, ledit dispositif est remarquable en ce qu'il comporte :



- des moyens pour recevoir un trajet comprenant une suite d'éléments du domaine aéroportuaire que l'aéronef doit emprunter successivement, un élément représentant une portion distincte et délimitée du domaine aéroportuaire et étant caractérisé par au moins deux points de référence qui représentent des points fixes dudit domaine aéroportuaire ;
- des moyens pour extraire automatiquement d'un ensemble de points de référence du domaine aéroportuaire les coordonnées géographiques des points de référence correspondant aux éléments dudit trajet que l'aéronef doit emprunter ;
- des moyens pour transposer automatiquement les coordonnées géographiques ainsi extraites, dans un repère métrique lié au domaine aéroportuaire ;
- des moyens pour déterminer automatiquement, à partir desdites coordonnées ainsi transposées, l'ensemble des points d'intersection des éléments successifs dudit trajet qui sont tels que, lorsqu'ils sont reliés entre eux successivement, ils forment une trajectoire auxiliaire ;
- des moyens pour mettre en forme automatiquement ladite trajectoire auxiliaire, au moins en déterminant un virage à chacun desdits points d'intersection, de manière à engendrer ladite trajectoire destinée au roulage au sol de l'aéronef ; et
- des moyens pour fournir cette trajectoire à au moins un système utilisateur.

La présente invention concerne également un aéronef, en particulier un avion de transport, qui est muni d'un dispositif tel que celui précité.

Les figures du dessin annexé feront bien comprendre comment l'invention peut être réalisée. Sur ces figures, des références identiques désignent des éléments semblables.

La figure 1 est le schéma synoptique d'un dispositif de génération de trajectoire conforme à l'invention.

Les figures 2 à 4 sont des graphiques permettant d'expliquer la détermination de points d'intersection d'éléments successifs d'un trajet à suivre.

Les figures 5 et 6 sont des graphiques permettant d'expliquer une méthode de détermination de virage, conforme à l'invention.

Les figures 7 et 8 sont des graphiques permettant de mettre en évidence une suppression d'artéfacts sur une trajectoire.

Le dispositif 1 conforme à l'invention et représenté schématiquement sur la figure 1, est formé de manière à engendrer une trajectoire qui est destiné au roulage au sol d'un aéronef, en particulier d'un avion de transport, non représenté. Ce dispositif 1 concerne la génération d'une trajectoire au sol, qui est telle que l'aéronef puisse être guidé, manuellement ou automatiquement, le long de cette trajectoire sur un domaine aéroportuaire tel qu'un aérodrome ou un aéroport. Cette trajectoire au sol représente donc un chemin à suivre par l'aéronef sur le domaine aéroportuaire, incluant en particulier les pistes de décollage et d'atterrissage, les voies de circulation ou de relation (taxiways), les raquettes de retournement, les zones d'attente, les barres de stop, les positions d'arrêt (stand), les aires de manœuvre, et les aires de parking.

Selon l'invention, ledit dispositif 1 comporte :

- des moyens 2 pour recevoir un trajet comprenant une suite d'éléments du domaine aéroportuaire que l'aéronef doit emprunter successivement. Un élément du domaine aéroportuaire représente une portion distincte et délimitée dudit domaine aéroportuaire et est caractérisé par au moins deux points de référence qui représentent des points fixes dudit domaine aéroportuaire ;
- des moyens 3 qui sont reliés par l'intermédiaire d'une liaison 4 auxdits moyens 2 et qui sont destinés à extraire d'un ensemble de points de référence du domaine aéroportuaire les coordonnées géographiques des

points de référence correspondant aux éléments dudit trajet (transmis par les moyens 2) que l'aéronef doit emprunter ;

- des moyens 5 qui sont reliés par l'intermédiaire d'une liaison 6 auxdits moyens 3 et qui sont destinés à transposer les coordonnées géographiques (extraites par lesdits moyens 3), dans un repère métrique lié au domaine aéroportuaire ;
- des moyens 7 qui sont reliés par l'intermédiaire d'une liaison 8 auxdits moyens 5 et qui sont formés de manière à déterminer, à partir des coordonnées ainsi transposées, l'ensemble des points d'intersection des éléments successifs dudit trajet. Ces points d'intersection sont tels que, lorsqu'ils sont reliés entre eux successivement, ils forment une trajectoire auxiliaire ;
- des moyens 9 qui sont reliés par l'intermédiaire d'une liaison 10 auxdits moyens 7 et qui sont destinés à mettre en forme ladite trajectoire auxiliaire (reçue desdits moyens 7), au moins en déterminant un virage à chacun desdits points d'intersection, de manière à engendrer ladite trajectoire qui est destinée au roulage au sol de l'aéronef ; et
- des moyens 11 qui sont reliés par l'intermédiaire d'une liaison 12 auxdits moyens 9 et qui sont susceptibles de fournir la trajectoire déterminée par lesdits moyens 9 à des systèmes utilisateurs 13 et 14 par l'intermédiaire d'une liaison 15.

Ladite trajectoire peut être définie de différentes manières. En particulier, plusieurs familles (ou combinaisons de familles) de courbes peuvent être utilisées pour former cette trajectoire. A titre d'illustration :

- dans une première variante, la trajectoire construite par le dispositif 1 est formée uniquement de segments de droite connectés les uns à la suite des autres, de manière à former une courbe de lignes brisées, chaque virage (ou tout autre élément courbe) étant constitué de plu-

- sieurs segments, dont le nombre dépend d'une approximation souhaitée ;
- dans une deuxième variante, la trajectoire construite par le dispositif 1 est formée d'une combinaison de segments et d'arcs de cercles (ou d'arcs d'ellipses) ;
  - dans une troisième variante, la trajectoire construite par le dispositif 1 est formée d'une combinaison de segments et de clothoïdes ;
  - dans une quatrième variante, la trajectoire construite par le dispositif 1 est formée d'une combinaison de segments et de NURBS ("Non-Uniform Rational B-splines" en anglais), en particulier de "B-splines" ; et
  - dans une cinquième variante (cas particulier de la quatrième variante), la trajectoire construite par le dispositif 1 est formée d'une succession de courbes polynomiales, par exemple des splines, en particulier des courbes de Bézier [quadratiques (de degré 2), cubiques (de degré 3), ou de tout degré supérieur].

Un cas particulier de cette cinquième variante constitue une variante de réalisation préférée qui sera décrite ci-dessous : la trajectoire construite est formée d'une succession de courbes de Bézier cubiques. Une trajectoire formée d'une combinaison de segments de droite et de courbes de Bézier entre dans cette variante préférée, car un segment de droite peut être décrit par une courbe de Bézier (de tout degré supérieur ou égal à 2).

Dans un mode de réalisation particulier, ledit dispositif 1 et lesdits systèmes utilisateurs 13 et 14, en particulier des moyens d'aide au pilotage, précisés ci-dessous, font partie d'un système 16 d'aide au pilotage d'un aéronef roulant au sol sur un domaine aéroportuaire.

Par conséquent, grâce au dispositif 1 conforme à l'invention, et comme précisé davantage ci-dessous :

- on dispose d'une représentation de la trajectoire au sol à suivre, qui est exploitable par plusieurs systèmes 13, 14 de l'aéronef ;
- cette trajectoire au sol peut servir de support à la génération d'un profil de vitesse associé et adapté à cette dernière ;
- 5 – cette trajectoire au sol permet la mise en œuvre d'un guidage automatique ou semi-automatique de l'aéronef selon l'axe latéral ;
- cette trajectoire au sol peut être adaptée aux caractéristiques particulières de l'aéronef, en particulier à son empatement longitudinal ; et
- cette trajectoire au sol permet de fournir au pilote une représentation  
10 visuelle de la trajectoire à suivre, afin par exemple de l'aider lors du guidage latéral de l'aéronef en mode manuel.

Dans un mode de réalisation particulier, lesdits moyens 2 peuvent être :

- des moyens d'entrée, par exemple un clavier, permettant à un opérateur,  
15 en particulier le pilote de l'aéronef, d'entrer ledit trajet dans le dispositif 1 ; et/ou
- des moyens de communication permettant de recevoir automatiquement, de façon usuelle, de l'extérieur de l'aéronef, et notamment d'un contrôleur aérien ou d'un contrôleur au sol, ledit trajet, par exemple à  
20 l'aide d'une liaison de transmission de données.

Par ailleurs, lesdits moyens 3 extraient lesdits points de référence par exemple d'une base de données 17 (via une liaison 18). Cette base de données 17 peut être située :

- soit au niveau de l'aéronef et représenter une base de données embarquée, comme montré sur la figure 1 ;
- 25 – soit à l'extérieur de l'aéronef et représenter une base de données dont les points de référence sont communiqués auxdits moyens 3 par des moyens de communication usuels (non représentés).

Par conséquent, à partir d'un trajet fourni par exemple par le contrôleur aérien ou le contrôleur sol, sous forme, notamment, d'une série de noms d'éléments du domaine aéroportuaire à emprunter successivement, ou sous toute autre forme décrivant le cheminement à emprunter, et ce quel que soit le moyen de communication utilisé entre le contrôleur et l'aéronef, en particulier par voie audio entre le contrôleur et le pilote, ou par tout moyen informatique entre le contrôleur et l'aéronef (par exemple par liaison de transmission de données), et à partir de points de référence du domaine aéroportuaire, ou tout autre moyen de représenter d'une façon ou d'une autre les éléments constitutifs du domaine aéroportuaire, ledit dispositif 1 engendre une trajectoire qui est exploitable par un ou plusieurs systèmes informatiques de l'aéronef, de manière à permettre, par exemple :

- un guidage latéral automatique de l'aéronef, en particulier à l'aide d'un dispositif de pilotage automatique 13 ; ou
- une aide visuelle au guidage manuel de l'aéronef en mode latéral, en particulier à l'aide d'un écran 14 susceptible d'afficher une représentation visuelle de la trajectoire (déterminée par le dispositif 1).

Dans le cadre de la présente invention, on entend par point de référence PX du domaine aéroportuaire un point fixe du domaine, de position géographique connue avec précision, intègre, dont la définition et les caractéristiques sont communes à l'aéronef et au contrôle aérien/sol, et dont un ensemble permet de représenter de manière non ambiguë et schématique les caractéristiques essentielles et suffisantes des éléments du domaine aéroportuaire de manière à permettre, en particulier, le pilotage automatique de l'aéronef au sol. Chaque élément du domaine aéroportuaire est caractérisé par au moins deux points de référence, formant une ligne brisée (succession de segments de droite reliés entre eux), comme par exemple l'élément Ei-1 de la figure 2 qui est caractérisé par

des points de référence Pi-1A et Pi-1B. L'ensemble de ces points de référence forme un réseau couvrant tout ou partie du domaine aéroportuaire.

De plus, de préférence, chaque élément  $E_i$  (du domaine aéroportuaire) est typé, c'est-à-dire qu'il est caractérisé, outre les coordonnées de ses points de référence, par au moins une information supplémentaire permettant de différencier les éléments entre eux, par exemple le type de chaque élément. A titre d'exemple, les éléments peuvent être rangés dans les catégories de type suivantes : "piste", "taxiway" (voies de relation), "parking", "stand" (barres de stand), "stop" (barres de stop), "manœuvre" (raquette de retournement par exemple), "point de passage", et "sortie rapide" (voie de relation attenante à une piste et permettant de dégager celle-ci à une vitesse élevée).

Le tableau ci-après présente une méthode possible de construction des différents éléments de trajectoire précités.

Type	Construction	Remarques
Piste	Définie par deux points, aux extrémités de la piste et alignés sur l'axe de la piste.	Une piste que l'on peut prendre dans les deux sens constitue deux objets distincts, confondus géométriquement, mais dont l'ordre des points caractéristiques est inversé. C'est un élément orienté.
Taxiway (voie de relation)	Défini par N points, avec un point par extrémité de segment. Pour un chemin quelconque, ou pour un virage ne pouvant être construit de manière automatique (rayon de giration non standard), deux points ne doivent pas être distants d'un écart angulaire supérieur à 30°.	Élément de base de la construction du réseau des points de référence de l'aéroport. Peut être parcouru dans les deux sens.
Taxiway orienté	Chemin défini de la même façon que les objets de type "Taxiway". L'ordre des points définit le sens d'orientation du taxiway.	Taxiway ne pouvant être emprunté que dans un seul sens. Sert pour des cas particuliers (par exemple, pour une voie circulaire à sens unique).
Voie de sortie rapide	Chemin défini de la même façon que les objets de type "Taxiway".	Diffère d'un taxiway par un rayon de giration plus important au niveau du virage entre la voie et la piste.
Manoeuvre	Chemin défini de la même façon que les objets de type "Taxiway".	Chemin général permettant de réaliser des manœuvres particulières, par exemple utiliser une raquette de retournement ou une aire d'attente. Diffère d'un taxiway par une vitesse réglementaire plus faible (10 nœuds maximum) et un rayon de giration plus court.
Parking	Chemin défini de la même façon que les objets de type "Taxiway".	Le parking peut être parcouru dans les deux sens, l'orientation étant définie par la présence du stand.
Stop	Construit par deux points de chaque côté d'un taxiway, définissant un segment perpendiculaire à l'axe de la voie.	Segment utilisé pour définir un point d'arrêt sur un taxiway.
Stand	Défini de la même façon que les objets de type "Stop".	Identique à un stop, mais utilisé spécifiquement pour marquer l'arrêt sur un parking.
Point de passage	Défini de la même façon que les objets de type "Stop".	



Dans un mode de réalisation préféré, les moyens 3 extraient de la base de données 17 comprenant l'ensemble des points de référence, les informations relatives aux éléments de trajectoire concernés par ledit trajet. Par exemple, si le trajet passe par des éléments E1, E2, ... En, n étant un entier quelconque, les moyens 3 extraient de la base de données 17 les coordonnées géographiques des points de référence caractérisant ces éléments E1 à En, ainsi que le type de chacun desdits éléments E1 à En.

Les coordonnées géographiques des points de référence sont ensuite converties par les moyens 5 dans un repère métrique orthonormé local au domaine aéroportuaire. Dans une variante particulière, on suppose que les coordonnées sont initialement exprimées (notamment dans la base de données 17) dans le système de coordonnées international WGS84, en [degrés, minutes, secondes].

On note [A, B, C] et [D, E, F] respectivement la longitude et la latitude d'un point de référence PX du domaine aéroportuaire, exprimées en degrés, minutes et secondes :

$$\begin{cases} D^{\circ} E' F'' \text{ de latitude N} \\ A^{\circ} B' C'' \text{ de longitude E} \end{cases}$$

De même, on note [Aref, Bref, Cref] et [Dref, Eref, Fref] respectivement la longitude et la latitude de l'origine PO du repère (par exemple, un point de référence, ou tout autre point, remarquable ou non, dans le voisinage du domaine aéroportuaire), également exprimées en degrés, minutes et secondes.

Pour les latitudes sud et les longitudes ouest, les triplets sont respectivement négatifs.

Dans le repère orthonormé métrique local au domaine aéroportuaire et centré sur le point PO choisi, les coordonnées Xp et Yp d'un point de référence PX s'écrivent :

$$\begin{cases} X_p = \frac{3600(A - A_{ref}) + 60(B - B_{ref}) + (C - C_{ref})}{3600} \cdot \frac{2\pi}{360} \cdot \sqrt{\frac{a^2 b^2}{b^2 + a^2 \operatorname{tg}(\alpha_0)^2}} \\ Y_p = \frac{3600(D - D_{ref}) + 60(E - E_{ref}) + (F - F_{ref})}{3600} \cdot \frac{\pi(a + b)}{360} \end{cases}$$

dans lesquelles expressions :

- $\alpha_0$  est la latitude de l'origine PO du repère ;
- $\operatorname{tg}$  est la tangente ;
- 5 -  $a$  est le demi grand-axe de la terre ; et
- $b$  est le demi petit-axe de la terre.

Par ailleurs, les moyens 7 établissent, à partir des points de référence des éléments du trajet, une liste L1 contenant l'ensemble des points d'intersection des éléments successifs de la trajectoire. En effet, la trajectoire à suivre n'emprunte pas nécessairement la totalité de chaque élément. Typiquement, ceci est notamment le cas lorsque :

- lors de l'atterrissage, l'aéronef doit sortir de la piste par un taxiway situé à mi-chemin des extrémités de piste ; ou
- un taxiway de grande longueur est intersecté par plusieurs autres taxiways.

Les moyens 7 déterminent donc l'ensemble des points d'intersection qui, reliés entre eux successivement, vont constituer la trajectoire réellement suivie par l'aéronef. Pour ce faire :

- on considère successivement l'élément  $E_i$  de la liste des éléments de trajectoire, jusqu'à l'avant-dernier de la liste ;
- chaque élément pouvant être constitué de plusieurs segments, on considère le segment  $S_j$  de l'élément  $E_i$  et le segment  $S_k$  de l'élément suivant  $E_{i+1}$  ;
- on cherche alors à déterminer si les segments  $S_j$  et  $S_k$  s'intersectent et :
- 25
  - si oui, l'intersection constitue un point de passage, et on recommence en considérant les éléments  $E_{i+1}$  et  $E_{i+2}$  ; et

- sinon, on itère sur j et k jusqu'à trouver une intersection ; et
- si aucune intersection n'est trouvée en fin d'itération, le chemin considéré n'est pas valable. La génération de trajectoire s'arrête et le chemin doit être redéfini correctement par le contrôle aérien/sol ou le pilote.

5            Si un élément  $E_i$  intersecté est constitué de plusieurs segments  $S_1$ ,  $S_2$  et  $S_3$ , l'ensemble des points intermédiaires  $P_{i2}$  et  $P_{i3}$  situés entre les deux points d'intersection  $PI_1$  et  $PI_2$  de l'élément  $E_i$  constituent des points de passage, et doivent être ajoutés dans l'ordre dans la liste  $L_1$ , comme représenté sur la figure 2. Sur cette figure 2, l'élément  $E_i$  (défini entre  $P_{iA}$  et  $P_{iB}$ ) possède trois segments  $S_1$ ,  $S_2$  et  $S_3$ . Le premier segment  $S_1$  est intersecté par l'élément  $E_{i-1}$  (défini entre  $P_{i-1A}$  et  $P_{i-1B}$ ), et le dernier segment  $S_3$  est intersecté par l'élément  $E_{i+1}$  (défini entre  $P_{i+1A}$  et  $P_{i+1B}$ ). Les points de passage successifs (suivant le tracé en traits interrompus) sont donc, dans l'ordre :

10             $P_{i-1A}$  (point de référence),  $PI_1$  (point d'intersection),  $P_{i2}$  (point intermédiaire),  $P_{i3}$  (point intermédiaire),  $PI_2$  (point d'intersection),  $P_{i+1B}$  (point de référence).

              Si un point d'intersection est confondu avec un point intermédiaire (c'est-à-dire si un élément  $E_i$  est intersecté au niveau d'une articulation),

20            un seul point doit être entré dans la liste  $L_1$ , sinon il apparaît un doublon.

              Par ailleurs, on notera que l'intersection de deux segments n'a pas de sens si ceux-ci sont alignés. On vérifie donc ce cas, avant de déterminer un point d'intersection entre deux segments  $S_j$  et  $S_k$ . Pour cela, on commence par calculer l'angle  $\alpha$  formé par les deux segments  $S_j$  et  $S_k$

25            considérés, comme représenté sur la figure 3, à l'aide de l'expression suivante :

$$\alpha = \arccos \left( \frac{|j_x.k_x + j_y.k_y|}{\|j\| \cdot \|k\|} \right),$$

dans laquelle :

- \*  $\vec{j}$  et  $\vec{k}$  sont des vecteurs directeurs des segments  $S_j$  et  $S_k$  qui font partie de deux éléments  $E_i$  et  $E_{i+1}$  successifs ;
- \*  $\vec{j}$  et  $\vec{k}$  ont comme coordonnées  $(j_x, j_y)$  et  $(k_x, k_y)$  ; et.

5 \*  $\arccos$  est l'inverse du cosinus.

Si l'angle  $\alpha$  est inférieur à une valeur de seuil  $\varepsilon$ , on considère que les deux segments  $S_j$  et  $S_k$  sont alignés (c'est-à-dire sont de même direction).

10 De plus, si les vecteurs  $\vec{j}$  et  $\vec{k}$  correspondants sont colinéaires, on détermine l'écart latéral qui les sépare. Si cet écart latéral est inférieur à un seuil, on considère que les segments  $S_j$  et  $S_k$  se suivent. Sinon, on considère que les segments  $S_j$  et  $S_k$  sont trop éloignés l'un de l'autre pour constituer un chemin valide.

15 En outre, si les deux extrémités sont confondues, on ne rajoute qu'un seul point dans la liste (pour éviter les doublons), sinon on rajoute les deux.

20 On notera que les segments sont orientés de manière arbitraire, c'est-à-dire que l'ordre des points définissant les éléments peut se faire dans les deux sens de parcours de l'élément (sauf pour les pistes, qui sont des éléments orientés). Par conséquent, on ne sait pas a priori quelles sont les extrémités de segment à considérer. Il faut donc calculer les quatre distances possibles séparant les extrémités deux à deux, et choisir comme extrémités à considérer celles qui forment la distance la plus courte.

25 Par ailleurs, concernant l'intersection de deux segments, on cherche à déterminer si deux segments s'intersectent, et si oui, en quel point. Chaque segment est vu comme une courbe de Bézier linéaire définie par ses deux extrémités (voir la figure 4 qui montre une intersection de deux

courbes de Bézier linéaires :  $A_1A_2$  et  $B_1B_2$ , dans un plan  $Oxy$ ), et paramétrée par  $s \in [0, 1]$ . Si  $s_A \notin [0, 1]$  ou si  $s_B \notin [0, 1]$ , alors les deux segments ne s'intersectent pas.

5 Une extrémité de segment pouvant se situer au voisinage d'un autre segment (au niveau d'un carrefour en "T" par exemple), on se fixe une tolérance, par exemple de 5% de la longueur du segment considéré, sauf dans le cas où l'un des éléments est un stand, un stop ou un point de passage, auquel cas la tolérance est nulle (car on est sûr que les deux éléments s'intersectent). La condition d'intersection est alors :

10  $s_A \in [-0,05; 1,05]$  et  $s_B \in [-0,05; 1,05]$

avec :

$$\begin{cases} s_A = \frac{A_1x(B_2y - B_1y) + B_1x(A_1y - B_2y) + B_2x(B_1y - A_1y)}{A_1x(B_2y - B_1y) + A_2x(B_1y - B_2y) + B_2x(A_2y - A_1y) + B_1x(A_1y - A_2y) - (A_1x(B_1y - A_2y) + A_2x(A_1y - B_1y) + B_1x(A_2y - A_1y))} \\ s_B = \frac{A_1x(B_2y - B_1y) + A_2x(B_1y - B_2y) + B_2x(A_2y - A_1y) + B_1x(A_1y - A_2y)}{A_1x(B_2y - B_1y) + A_2x(B_1y - B_2y) + B_2x(A_2y - A_1y) + B_1x(A_1y - A_2y)} \end{cases}$$

15 Dans ces expressions, les couples  $(A_1x, A_1y)$ ,  $(B_1x, B_1y)$ ,  $(A_2x, A_2y)$  et  $(B_2x, B_2y)$  sont respectivement les coordonnées des points  $A_1$ ,  $B_1$ ,  $A_2$ ,  $B_2$  dans le plan  $Oxy$ .

Les coordonnées du point d'intersection  $PI$  sont données par :

$$PI = A_1(1-s_A) + A_2s_A = B_1(1-s_B) + B_2s_B.$$

20 Par ailleurs, on sait qu'en début de trajectoire, le choix du premier point constitue une ambiguïté. Par conséquent, le premier élément de la trajectoire doit être, soit une piste (car c'est un élément orienté) dans le cas d'un atterrissage, soit un stand, un stop ou un point de passage dans le cas général.

25 De même, en fin de trajectoire, le dernier élément intersecté constitue également une ambiguïté, car il n'y a pas d'élément suivant pour déterminer le sens de parcours. Par conséquent, la trajectoire doit se terminer, soit par une piste dans le cas du décollage, soit par un stand, un stop

ou un point de passage dans le cas général, afin de déterminer le point final de la trajectoire.

Par ailleurs, une fois les points d'intersection déterminés, les moyens 7 (ou les moyens 9) vérifient qu'aucun angle formé par deux segments successifs n'est supérieur à un seuil  $\alpha_{\text{seuil}}$  fixé, afin d'éviter de

5 construire des virages trop courts ou des points de rebroussement.

En outre, les moyens 7 (ou les moyens 9) vérifient que la liste L1 ainsi finalisée ne comporte pas de doublons, qui doivent être supprimés le cas échéant. On appelle doublon deux points successifs de mêmes coordonnées et de même type. Un doublon peut apparaître si un élément en

10 intersecte un autre au niveau d'un coude, par exemple.

Par ailleurs, en vue de la construction des virages, chaque point de passage est typé, c'est-à-dire qu'il possède une information du type "Piste", "Taxi", "Parking", ..., comme précisé ci-dessus. On construit donc, en même temps que la liste L1, une liste L2, possédant autant

15 d'éléments que la liste L1, et contenant les informations de type de chaque point de passage. Plus particulièrement :

- s'il s'agit d'un point intermédiaire, le type est celui de l'élément correspondant ;
- 20 - s'il s'agit d'un point d'intersection, le type est ambigu si les deux éléments intersectés sont de types différents. On choisit alors arbitrairement de donner au point d'intersection le type de l'élément suivant ; et
- si le point est issu d'une intersection avec un stand, un stop ou un point de passage, il prend le type de ce dernier.

25 La trajectoire étant définie par une liste de points de passage à rejoindre successivement en ligne droite, l'étape suivante (mise en œuvre par les moyens 9) consiste à construire un virage à chaque point de passage, afin d'obtenir une trajectoire telle que, un point de l'aéronef (par exemple le point médian des trains principaux) suivant cette ligne,

l'ensemble des roues de l'aéronef restent sur le revêtement de la piste avec la plus grande marge possible par rapport aux bords.

L'idée générale consiste à alterner virages et segments de droite, les deux types de formes étant décrites par des courbes de Bézier cubiques (connectées entre elles). Chaque extrémité "sortie" d'une courbe correspond à l'extrémité "entrée" de la courbe suivante (les extrémités sont superposées), et les tangentes aux points de connexion sont alignées (pas de point de cassure).

Mathématiquement, une courbe Bézier cubique est définie par quatre points  $\{A, B, C, D\}$ , est paramétrée par le paramètre  $s \in [0, 1]$ , et a pour équation :

$$Z(s) = A(1-s)^3 + 3B(1-s)^2s + 3C(1-s)s^2 + Ds^3$$

Les points A et D sont les extrémités de la courbe. Les points B et C sont des points de contrôle, dont la position détermine l'allure de la courbe, comme représenté sur la figure 5.

La méthode de construction d'un virage VR est définie par les relations suivantes :

$$\|\overline{AB}\| = \|\overline{CD}\| = R1.f(\alpha 1)$$

$$f(\alpha 1) = 0,001188\alpha 1^3 - 0,01283\alpha 1^2 + 0,34139\alpha 1$$

dans lesquelles :

- R1 est le rayon du virage VR ; et
- $\alpha 1$  est l'angle d'ouverture du virage VR.

Il peut être nécessaire de modifier la forme du virage afin de maximiser l'écart entre les roues et les bords de piste. L'ajustement de la forme du virage se fait alors par l'intermédiaire de deux facteurs de pondération :  $P_e$  et  $P_s$  relatifs respectivement à l'entrée et à la sortie du virage, de sorte que :

$$\begin{cases} \|\overrightarrow{AB}\| = R1.Pe.f(\alpha1) \\ \|\overrightarrow{CD}\| = R1.Ps.f(\alpha1) \end{cases}$$

Les virages sont donc des arcs de cercles dont le rayon varie selon le type de chacun des segments articulés autour du point de passage considéré.

5 Le calcul des virages est réalisé de la manière suivante par les moyens 9 :

– à chaque point de passage  $I_i$ , ils considèrent les segments  $S_{i-1}$  et  $S_i$  de part et d'autre de ce point  $I_i$ , tels que représentés sur la figure 6 par exemple. Les moyens 9 calculent un vecteur directeur unitaire pour  
10 chacun de ces segments :

$$\overrightarrow{VA} = \frac{\overrightarrow{I_{i-1}.I_i}}{\|I_{i-1}.I_i\|} \text{ et } \overrightarrow{VB} = \frac{\overrightarrow{I_i.I_{i+1}}}{\|I_i.I_{i+1}\|}$$

– puis ils calculent l'angle  $\alpha_2$  formé par les deux segments  $S_{i-1}$  et  $S_i$  :  
 $\alpha_2 = \arccos (VA_x.VB_x + VA_y.VB_y)$ ,  $\arccos$  étant l'inverse du cosinus, et  
( $VA_x$ ,  $VA_y$ ) et ( $VB_x$ ,  $VB_y$ ) étant les coordonnées respectivement des  
15 vecteurs  $\overrightarrow{VA}$  et  $\overrightarrow{VB}$  ;

– ils se placent au début du segment précédant le point de passage  $I_i$  considéré, soit en un point  $S_0$ . A chaque itération, ils construisent dans la foulée la courbe de Bézier correspondant au segment, ainsi que celle correspondant au virage autour du point de passage, soit huit points à  
20 déterminer :  $S_0$ ,  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$ ,  $P_0$ ,  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$ , tels que représentés sur la figure 6 ;

– ils calculent les extrémités  $P_0$  et  $P_3$  du virage :

$$\begin{cases} P_0 = I_i - R2.tg(\alpha_2/2).\overrightarrow{VA} \\ P_3 = I_i - R2.tg(\alpha_2/2).\overrightarrow{VB} \end{cases}$$



- ils calculent des points de contrôle P1 et P2 du virage (les pondérations dépendent du rayon du virage) :

$$\begin{cases} P1 = P0 + R2.Pe.f(\alpha 2).\overline{VA} \\ P2 = P3 - R2.Ps.f(\alpha 2).\overline{VB} \end{cases}$$

- ils calculent les extrémités du segment, S0 étant l'extrémité d'entrée du segment : c'est aussi la sortie du virage précédent, d'où :

$$S0i = P3i - 1$$

$$S3 = P0i$$

- ils calculent des points de contrôle S1 et S2 du segment Si-1 (répartis à distance constante le long de ce segment Si-1) :

$$\begin{cases} S1 = S0 + (d/3)\overline{VA} \\ S2 = S3 - (d/3)\overline{VA} \end{cases} \text{ avec } d = \|\overline{S0S3}\|$$

- 10 Une fois tous les virages créés, les moyens 9 terminent la liste en construisant le dernier segment. S0 est l'extrémité d'entrée de ce dernier segment : c'est aussi la sortie du dernier virage, d'où :

- $S0i = P3i-1$  ;

- S3 est le dernier point de passage ; et

- 15 – S1 et S2 sont définis par le calcul ci-dessus.

En outre, si le point considéré est de type "stand", "stop" ou "point de passage", les moyens 9 ne construisent pas de virage (il s'agit uniquement d'un point d'arrêt ou de passage). Pour conserver une description homogène avec les notations précédentes, on crée alors un segment de longueur nulle :

$$S0 = S1 = S2 = S3.$$

20 Par ailleurs, les moyens 9 comportent des moyens (non représentés) pour vérifier sur la trajectoire (ainsi obtenue) que chaque virage présente une courbure maximale qui est inférieure à une courbure seuil prédé-

terminée, afin d'éviter des virages trop serrés qui ne pourraient pas être suivis par l'aéronef.

Par ailleurs, lesdits moyens 9 comportent également des moyens (non représentés) pour supprimer tous les artéfacts existant sur la trajectoire. Dans le cadre de la présente invention, un artéfact est une anomalie apparaissant lors de la construction d'un virage, lorsque deux points d'intersection sont trop proches pour laisser la place à deux virages C1 et C2 séparés par un segment, comme représenté sur la figure 7. Cette anomalie a pour conséquence l'apparition de deux points de rebroussement au niveau du segment C3 situé entre ces virages.

Pour ce faire, les moyens 9 fusionnent les trois courbes de Bézier C1, C2 et C3 (à savoir les deux virages C1 et C2 et le segment central C3) en une seule courbe C0, définie par la première extrémité et le premier point de contrôle, ainsi que par la dernière extrémité et le dernier point de contrôle, comme représenté sur la figure 8. Concrètement, on garde les quatre points extrêmes et on supprime tous les points intermédiaires.

Les artéfacts peuvent être corrigés :

- soit au moment de la création des virages. Dans ce cas, la condition d'apparition de l'anomalie est  $\|I1.Ii + 1\| < R3 + R4$ , c'est-à-dire si l'écart entre les deux points de passage est inférieur à la somme des rayons des deux virages ;
- soit ultérieurement, lorsque la liste des courbes de Bézier est complétée. Dans ce cas, on peut détecter l'artéfact en calculant le produit scalaire du vecteur directeur du segment central et du vecteur  $\overline{Ii.Ii + 1}$ . Si ce produit scalaire est négatif, les deux segments sont de sens contraires, ce qui révèle une situation anormale.

Par ailleurs, les moyens 9 comportent également des moyens (non représentés) qui sont susceptibles de réaliser, le cas échéant, une conca-  
ténation des segments de ladite trajectoire. Si, dans la trajectoire, plu-

sieurs éléments successifs sont des segments de droite, ces segments de droite sont alignés (sinon ils seraient séparés par des virages). Dans ce cas, il est possible de simplifier la trajectoire, en concaténant ces segments de droite successifs en un seul segment de droite.

5 Par ailleurs, dans un mode de réalisation particulier, lesdits moyens 9 comportent des moyens de vérification (non représentés) pour vérifier, à l'aide d'une série de critères, que la trajectoire construite est valide. Cette validation ne permet pas d'en déduire que la trajectoire suit correctement le trajet demandé, mais donne des garanties concernant le fait que la  
10 forme de la trajectoire est telle que celle-ci puisse servir de support à un guidage de l'aéronef, en particulier qu'elle est continue, sans points de cassure, ni de rebroussement.

Plus particulièrement, ces moyens de vérification des moyens 9 peuvent réaliser, notamment, les vérifications suivantes :

- 15 – vérifier que la numérotation des courbes de Bézier est correcte ;
- vérifier que les courbes de Bézier sont connectées successivement les unes aux autres, par exemple en vérifiant que le point A (figure 5) de chaque courbe est superposé au point D de la courbe précédente ;
- vérifier que, pour chacune des courbes de Bézier, les poignées de  
20 contrôle ne sont pas de longueur nulle, c'est-à-dire que les points B et C ne sont pas superposés, respectivement, aux points A et D. Il faut exclure de ce test les points d'arrêt (stands et stops) ainsi que les points de passage, dont les quatre points A, B, C et D sont superposés ;
- afin d'éviter des points de cassure entre deux courbes de Bézier, vérifier  
25 que la poignée de contrôle  $\overrightarrow{AB_i}$  d'une courbe  $S_i$  est alignée à la poignée de contrôle  $\overrightarrow{CD_{i-1}}$  de la courbe précédente  $S_{i-1}$ , en vérifiant que l'angle formé par les deux vecteurs ne dépasse pas un angle seuil donné ;

- afin d'éviter des points de rebroussement entre deux courbes de Bézier, vérifier que la poignée de contrôle  $\overline{AB_i}$  d'une courbe  $S_i$  est orientée dans le même sens que la poignée de contrôle  $\overline{CD_{i-1}}$  de la courbe  $S_{i-1}$  précédente, en vérifiant que :

5  $\overline{AB_i} \cdot \overline{CD_{i-1}} > 0$

Si ce produit scalaire est négatif, les poignées de contrôle forment un point de rebroussement ; et

- afin d'éviter des virages trop serrés qui ne pourront pas être suivis par l'aéronef, vérifier que chaque courbe possède une courbure maximale qui est inférieure à une courbure seuil donnée, en calculant la courbure de la courbe de Bézier en un nombre particulier de points et en la comparant à ladite courbure seuil.
- 10

Par ailleurs, lesdits moyens 11 fournissent, de préférence, ladite trajectoire sous forme d'un tableau qui liste les éléments successifs de la trajectoire, et qui présente, pour chacun de ces éléments :

15

- au moins un premier signe caractéristique (par exemple des valeurs de latitude et de longitude) permettant de définir sa position dans la trajectoire ;
  - au moins un second signe caractéristique (par exemple un nom) permettant de le caractériser, en indiquant notamment son type ;
- 20
- sa longueur ; et
  - sa courbure maximale.

Une telle présentation de la trajectoire permet de la rendre plus cohérente et plus facilement exploitable par des systèmes utilisateurs 13,

25 14 de l'aéronef.

## REVENdicATIONS

1. Système d'aide au pilotage d'un aéronef roulant au sol sur un domaine aéroportuaire,

caractérisé en ce qu'il comporte :

- 5 – un dispositif de génération d'une trajectoire destinée au roulage au sol de l'aéronef sur le domaine aéroportuaire, ledit dispositif (1) comportant :
- 10 . des moyens (2) pour recevoir un trajet comprenant une suite d'éléments (Ei) du domaine aéroportuaire que l'aéronef doit emprunter successivement, un élément (Ei) représentant une portion distincte et délimitée du domaine aéroportuaire et étant caractérisé par au moins deux points de référence (PiA, PiB) qui représentent des points fixes dudit domaine aéroportuaire ;
  - 15 . des moyens (3) pour extraire automatiquement d'un ensemble de points de référence du domaine aéroportuaire les coordonnées géographiques des points de référence correspondant aux éléments dudit trajet que l'aéronef doit emprunter ;
  - 20 . des moyens (5) pour transposer automatiquement les coordonnées géographiques ainsi extraites, dans un repère métrique lié au domaine aéroportuaire ;
  - 25 . des moyens (7) pour déterminer automatiquement, à partir desdites coordonnées ainsi transposées, l'ensemble des points d'intersection (PI1, PI2) des éléments successifs dudit trajet qui sont tels que, lorsqu'ils sont reliés entre eux successivement, ils forment une trajectoire auxiliaire ;
  - . des moyens (19) pour mettre en forme automatiquement ladite trajectoire auxiliaire, au moins en déterminant un virage (VR) à chacun desdits points d'intersection, de manière à engendrer ladite trajectoire destinée au roulage au sol de l'aéronef ; et

- . des moyens (11) pour fournir cette trajectoire à des moyens d'aide au pilotage (13, 14) ; et
- lesdits moyens d'aide au pilotage (13, 14) qui utilisent ladite trajectoire reçue dudit dispositif (1), pour aider au pilotage de l'aéronef.

5           2. Procédé d'aide au pilotage d'un aéronef roulant au sol sur un domaine aéroportuaire, caractérisé en ce que :

- on engendre une trajectoire destinée au roulage au sol de l'aéronef sur le domaine aéroportuaire, en réalisant les étapes suivantes :
  - 10       a) on reçoit un trajet comprenant une suite d'éléments (Ei) du domaine aéroportuaire que l'aéronef doit emprunter successivement, un élément (Ei) représentant une portion distincte et délimitée du domaine aéroportuaire et étant caractérisé par au moins deux points de référence (PiA, PiB) qui représentent des points fixes dudit domaine aéroportuaire ;
  - 15       b) on extrait automatiquement d'un ensemble de points de référence du domaine aéroportuaire les coordonnées géographiques des points de référence correspondant aux éléments (Ei) dudit trajet que l'aéronef doit emprunter ;
  - 20       c) on transpose automatiquement les coordonnées géographiques ainsi extraites, dans un repère métrique lié au domaine aéroportuaire ;
  - d) à partir desdites coordonnées ainsi transposées, on détermine automatiquement l'ensemble des points d'intersection (PI1, PI2) des éléments successifs dudit trajet qui sont tels que, lorsqu'ils sont reliés
  - 25       entre eux successivement, ils forment une trajectoire auxiliaire ;
  - e) on met en forme automatiquement ladite trajectoire auxiliaire, au moins en déterminant un virage (VR) à chacun desdits points d'intersection, de manière à engendrer ladite trajectoire destinée au roulage au sol de l'aéronef ; et

f) on fournit cette trajectoire à des moyens d'aide au pilotage (13, 14) ;  
et

– lesdits moyens d'aide au pilotage (13, 14) utilisent cette trajectoire pour aider au pilotage de l'aéronef.

5           3. Procédé selon la revendication 2,  
caractérisé en ce qu'à l'étape e), on vérifie sur ladite trajectoire que chaque virage (VR) présente une courbure maximale qui est inférieure à une courbure seuil prédéterminée.

10           4. Procédé selon l'une des revendications 2 et 3,  
caractérisé en ce que ladite trajectoire est formée d'une succession de virages et de segments de droite, et en ce que chaque virage (VR) est un arc de cercle dont le rayon (R1) dépend des segments arrivant au point d'intersection correspondant.

15           5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 2 à 4,  
caractérisé en ce que ladite trajectoire est définie sous forme d'une succession de courbes de Bézier cubiques, les courbes de Bézier cubiques étant susceptibles de définir des virages et des segments de droite.

20           6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 2 à 5,  
caractérisé en ce qu'à l'étape d), on vérifie, pour chaque point d'intersection, que l'angle formé par deux segments arrivant à ce point d'intersection est inférieur à une valeur de seuil prédéterminée.

              7. Procédé selon l'une quelconque des revendications 2 à 6,  
caractérisé en ce qu'à l'étape e), on supprime tous les artéfacts existant sur la trajectoire auxiliaire.

25           8. Procédé selon l'une quelconque des revendications 2 à 7,  
caractérisé en ce qu'à l'étape e), on détermine la courbure maximale et la longueur de chaque élément de la trajectoire auxiliaire qui est définie sous forme d'une succession d'éléments.

9. Procédé selon l'une quelconque des revendications 2 à 8, caractérisé en ce qu'à l'étape e), on réalise le cas échéant une concaténation des segments de ladite trajectoire auxiliaire.

5 10. Procédé selon l'une quelconque des revendications 2 à 9, caractérisé en ce qu'à l'étape f), on fournit ladite trajectoire sous forme d'un tableau qui liste les éléments successifs de la trajectoire, et qui présente, pour chacun de ces éléments, un premier signe caractéristique permettant de définir sa position dans la trajectoire, un second signe caractéristique permettant de le caractériser, sa longueur, et sa courbure  
10 maximale.



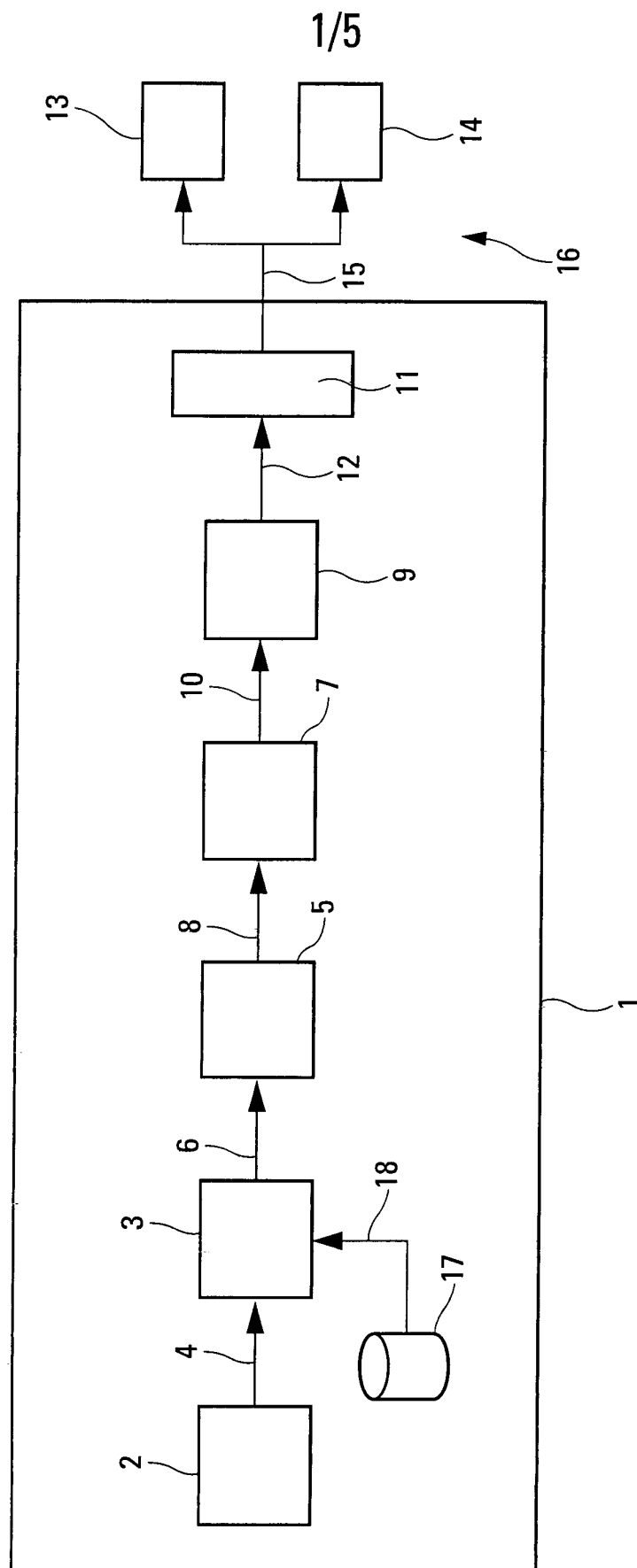


Fig. 1

2/5

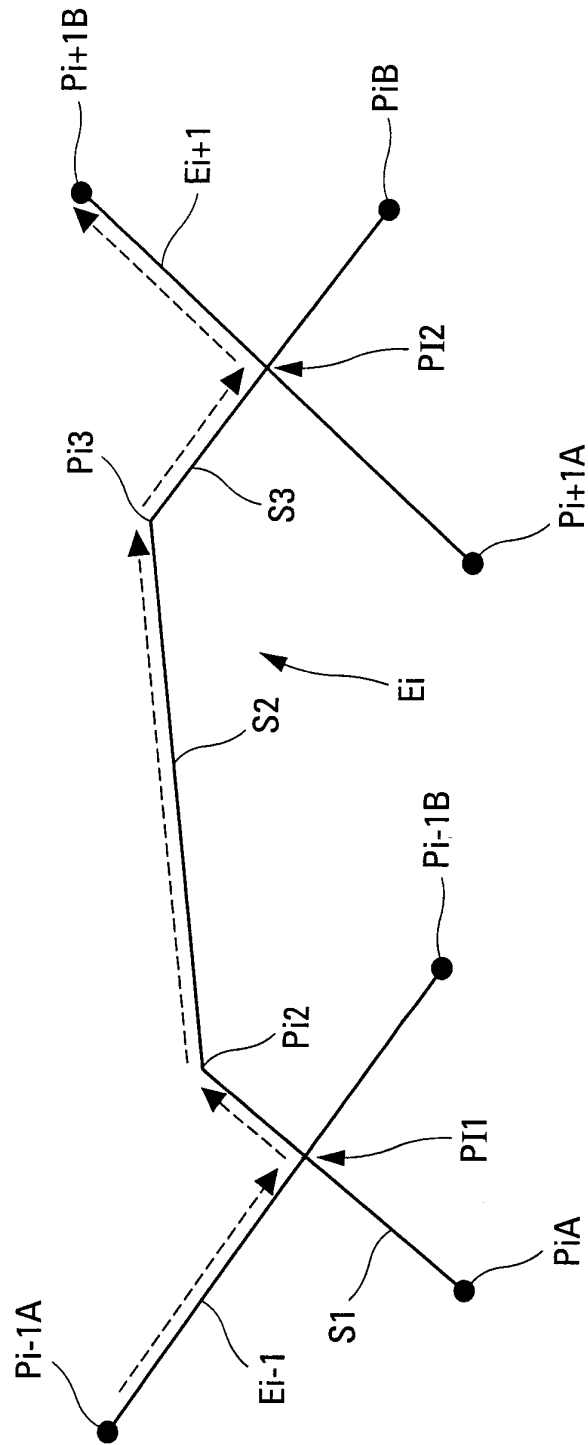
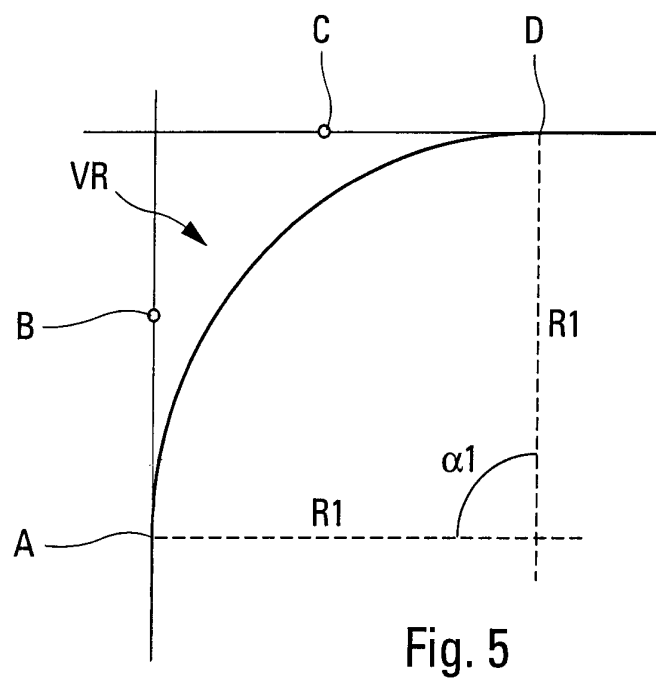
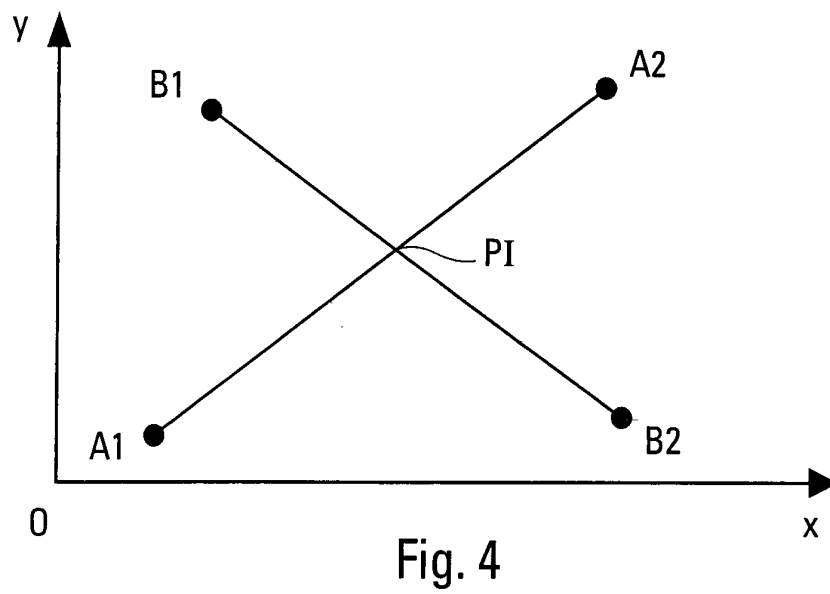
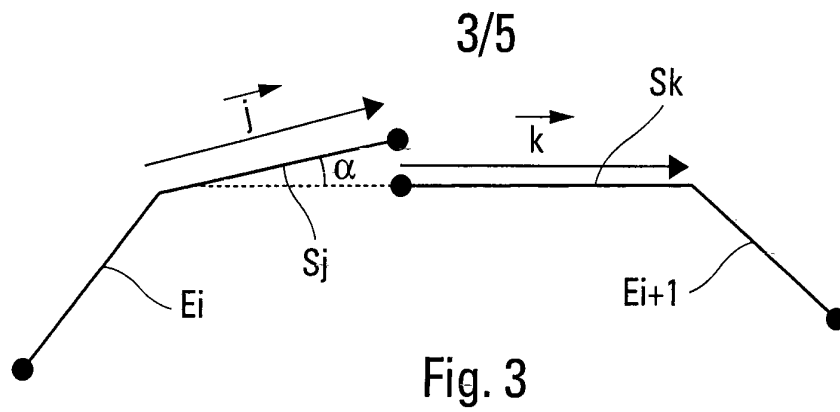


Fig. 2



4/5

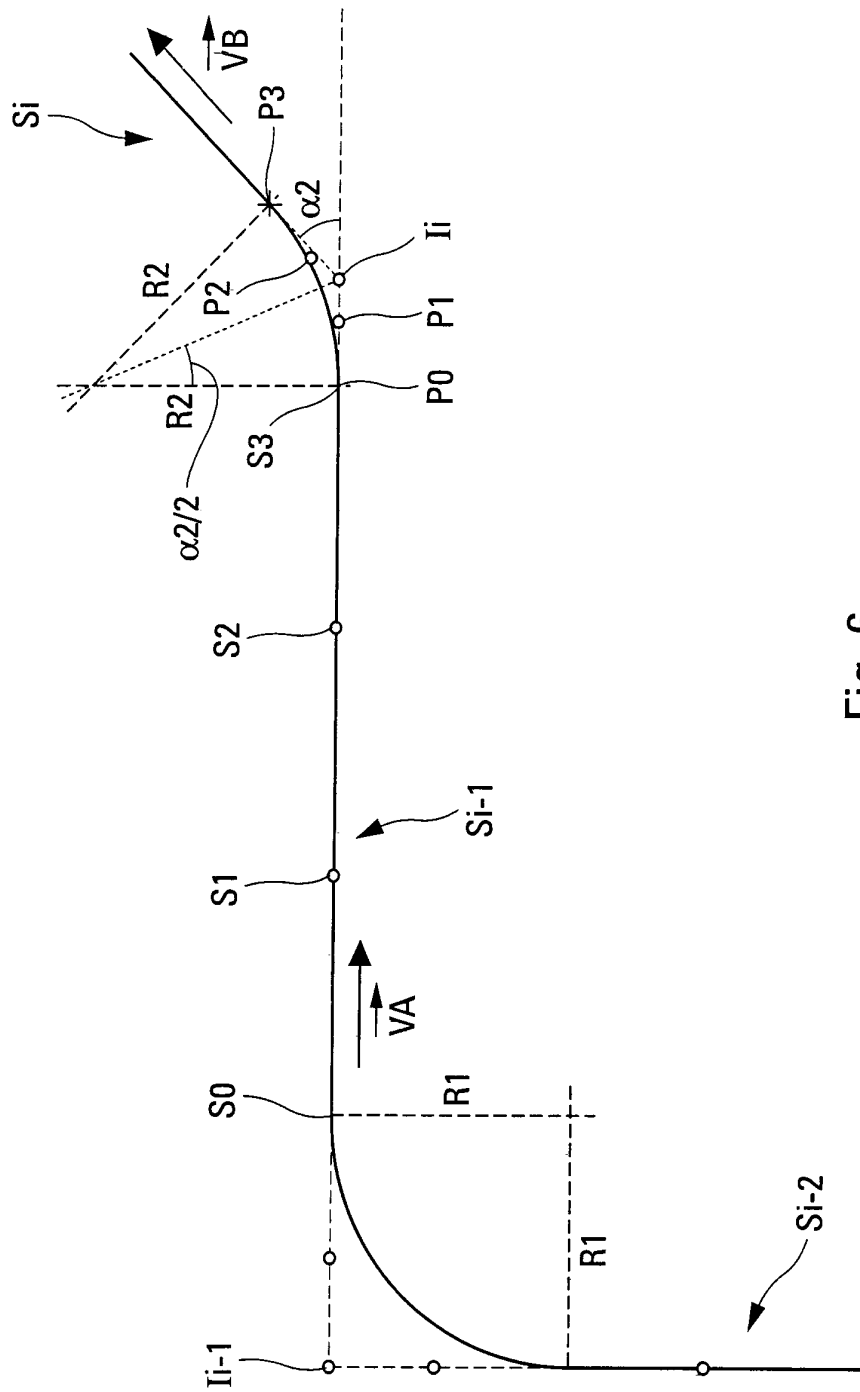


Fig. 6

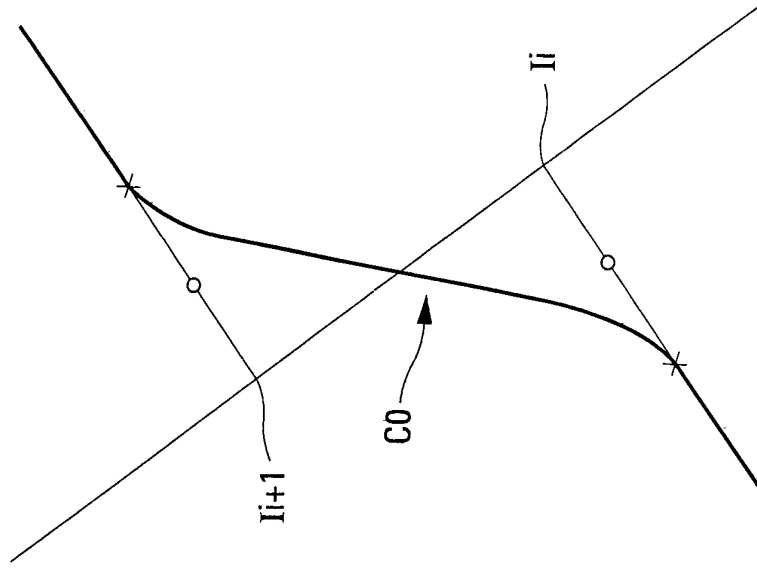


Fig. 8

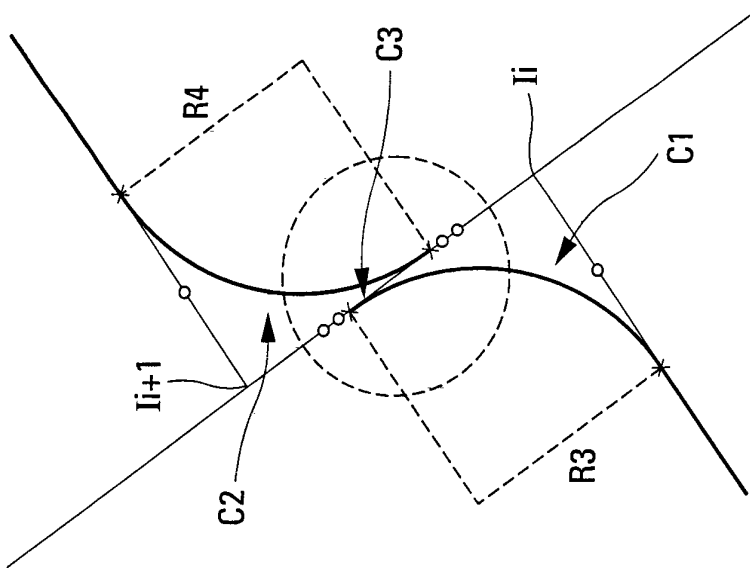


Fig. 7



**RAPPORT DE RECHERCHE  
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement  
national

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

FA 704862  
FR 0708597

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		
A	US 6 249 740 B1 (ITO YASUO [JP] ET AL) 19 juin 2001 (2001-06-19) * figures 2,4-6 * * colonne 9, ligne 1-37 * * colonne 11, ligne 31 - colonne 12, ligne 49 * * colonne 23, ligne 26-65 * -----	1-10	G05D1/02 G08G5/06 G08G5/04
A	EP 1 096 231 A (EQUOS RES KK [JP]) 2 mai 2001 (2001-05-02) * figures 4,5,12,13 * * alinéas [0108] - [0117] * * revendications 1,15 * -----	1-10	
A	EP 1 471 329 A (PIONEER CORP [JP]) 27 octobre 2004 (2004-10-27) * alinéa [0007] * * alinéas [0012], [0013] * * alinéas [0114] - [0116] * -----	1-10	
A	DE 43 04 562 A1 (DEUTSCHE AEROSPACE [DE]) 18 août 1994 (1994-08-18) * le document en entier * -----	1-10	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)  G01C G05D G08G
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
1 juillet 2008		Schriefl, Josef	
<p>CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS</p> <p>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</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>			

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0708597 FA 704862**

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 01-07-2008

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 6249740	B1	19-06-2001	AUCUN	
EP 1096231	A	02-05-2001	DE 60034752 T2	11-10-2007
			JP 3521817 B2	26-04-2004
			JP 2001124575 A	11-05-2001
			US 6282492 B1	28-08-2001
EP 1471329	A	27-10-2004	JP 2004325357 A	18-11-2004
			US 2004215389 A1	28-10-2004
DE 4304562	A1	18-08-1994	AUCUN	