





SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN,  
YU, ZA, ZM, ZW.

RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA,  
GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**(84) États désignés** (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible*) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT,

**Publiée :**

— avec rapport de recherche internationale

*En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.*

## DISPOSITIF DE SIGNALISATION DE RISQUES.

La présente invention est relative à l'aide à la navigation pour un mobile soumis à des contraintes de manœuvrabilité et de parcours tel qu'un  
5 aéronef évoluant au-dessus d'un territoire présentant des zones interdites de survol ou des reliefs et obstacles à contourner car proches ou supérieurs à son altitude de vol. Elle concerne plus particulièrement la signalisation, à un mobile, des risques encourus du fait de la présence dans son environnement, d'obstacles réels ou réglementaires susceptibles de  
10 s'opposer ou de gêner à sa progression.

Divers systèmes ont déjà été proposés pour évaluer de tels risques. Les plus connus sont les systèmes TAWS (acronyme de l'expression anglo-saxonne : "Terrain Awareness and Warning System") développés pour les aéronefs en vue de prévenir les risques de collision  
15 avec le sol. Les systèmes TAWS font une prévision de trajectoire à court terme pour l'aéronef à partir des informations de vol (position, cap, orientation et amplitude du vecteur vitesse) fournies par les équipements du bord, la placent en situation par rapport à une carte de la région survolée extraite d'une base de données d'élévations du terrain accessible du bord et  
20 émettent des alarmes à destination de l'équipage de l'aéronef à chaque fois que la trajectoire prévisible à court terme entre en collision avec le sol. Certains systèmes TAWS agrémentent leurs alarmes de recommandations rudimentaires du genre "Terrain Ahead, Pull up". D'autres donnent également des informations sur le niveau de risque de collision que font  
25 encourir les reliefs, les obstacles et les zones interdites de survol présents dans la zone d'évolution de l'aéronef sous la forme d'une carte partagée en régions de différentes couleurs fonction de l'importance du risque encouru.

Il est intéressant d'aller encore plus loin dans l'aide à la navigation et de signaler à l'équipage d'un mobile les dangers potentiels que  
30 représentent certaines parties du domaine d'évolution du mobile même non placées directement dans la direction de déplacement du mobile, cela afin de renseigner l'équipage du mobile sur sa liberté d'évolution.

Dans le genre, la demanderesse a proposé, dans une demande de brevet français FR 2.842.594 déposée le 19 juillet 2002, un système de  
35 prévention des risques de collision sol pour aéronef, assimilant les risques de collision avec le sol, à la pénétration du relief de la zone survolée dans des

## 2

enveloppes de protection liées à l'aéronef, les quantifiant en fonction du temps restant pour engager un virage latéral d'évitement de rayon déterminé et les affichant sur un écran de navigation de l'aéronef sous la forme d'une carte de la zone de terrain survolé partagée en régions de différentes  
5 couleurs correspondant à une échelle de risque. La demanderesse a aussi proposé, dans une demande de brevet français déposée le 19/12/2003, sous le n°0315020, d'afficher dans le cockpit d'un aéronef, une carte de manœuvrabilité représentant la zone de terrain survolé en trois types de région : un premier type correspondant aux régions à contourner car  
10 considérées comme infranchissables au vu de la situation et des performances présentes de l'aéronef, par exemple, par un système TAWS ou encore car faisant l'objet d'une réglementation d'interdiction de survol, un deuxième type correspondant à des zones à liberté d'évolution latérale restreinte, constitué par des franges marginales entourant les régions à  
15 contourner, de largeur correspondant à une largeur minimale nécessaire à l'aéronef pour décrire, à plat et à hauteur de sécurité, un hippodrome d'attente et un troisième type de région complémentaire des deux autres types, correspondant à des zones de libre évolution latérale. Cette carte de navigation, élaborée à partir d'une base de données d'élévations du terrain,  
20 met en œuvre une transformée de distance par propagation pour le placement des contours extérieurs des zones à liberté restreinte d'évolution latérale.

Une telle carte de manœuvrabilité facilite la navigation d'un aéronef en signalant, en plus des zones à contourner, les franges de leur  
25 voisinage où l'aéronef a sa liberté d'évolution latérale limitée.

La demanderesse a également proposé, dans une demande de brevet français déposée le 18/6/2004, sous le n°04 06654, un système de signalisation des passages étroits de la trajectoire d'un plan de vol où la liberté d'évolution latérale de l'aéronef est limitée latéralement par des reliefs  
30 ou des zones faisant l'objet d'une réglementation d'interdiction de survol. Ce système détecte les risques de collision avec le sol selon la méthode des systèmes TAWS, en associant les risques de collision avec le sol avec la pénétration du relief ou de zones interdites dans des enveloppes de protection liées à l'aéronef, contenant un espace suffisant pour permettre à

l'aéronef d'effectuer des virages à plat aussi serrés qu'il est autorisé, cela en tenant compte du vent.

La présente invention a pour but une signalisation plus complète des risques encourus par un mobile du fait d'obstacles situés dans son  
5 domaine de progression tenant compte non seulement des régions infranchissables car au-dessus des capacités du moment du mobile, des régions faisant l'objet d'une réglementation d'interdiction de franchissement et, éventuellement, de marges extérieures à leurs contours où le mobile a une liberté restreinte d'évolution latérale mais également des régions qui  
10 poseraient au mobile des problèmes de franchissement s'il changeait de comportement et adoptait un profil, prévu à l'avance, de trajectoire de repli.

Elle a pour objet un dispositif de signalisation de risques encourus par un mobile du fait d'obstacles réels ou réglementaires situés dans son domaine de progression comportant :

- 15 - des moyens de sélection d'une zone d'évolution,
- des moyens de prise en compte de différents types de région à risque de la zone d'évolution sélectionnée dont un premier type de région à risque constitué de régions inaccessibles au mobile en raison de ses capacités de franchissement du moment ou/et de régions  
20 réglementairement interdites de franchissement.

Ce dispositif est remarquable en ce qu'il comporte en outre :

- des moyens de détermination d'un deuxième type de région à risque de la zone d'évolution sélectionnée, constitué des régions inaccessibles au mobile après l'adoption d'un profil, prévu à l'avance,  
25 de trajectoire de repli.

Avantageusement, le dispositif de signalisation de risques comporte en outre :

- des moyens de détermination, dans la zone d'évolution sélectionnée, d'un troisième type de région à risque entourant les régions de  
30 premier et deuxième types et constituant des marges nécessaires à une libre évolution latérale du mobile.

Avantageusement, le dispositif de signalisation de risques comporte en outre :

- des moyens de détermination, dans la zone d'évolution sélectionnée,  
35 de deux régions latérales d'évolution serrée, à droite et à gauche par

rapport à la position du mobile et à la direction de la route qu'il suit, définies à partir de la trace au sol de la trajectoire qui serait parcourue par le mobile s'il effectuait un changement de direction d'une ampleur déterminée au cours d'un virage à rayon de courbure également déterminé,

- 5 - des moyens de détection d'appartenance de points des zones latérales d'évolution serrée à un ou des types de région à risque, et
- des moyens d'alarme déclenchés par les moyens de détection à chaque détection d'une appartenance d'un point d'une zone latérale
- 10 d'évolution serrée à au moins un type de région à risque.

Avantageusement, les moyens d'alarme engendrent différents niveaux d'alarme selon les types de région à risque détectés dans les zones latérales d'évolution serrée.

Avantageusement, les moyens d'alarme délivrent des alarmes  
15 distinctes dépendant à la fois de la zone latérale d'évolution serrée concernée, droite ou gauche, et des types de région à risque détectés dans ladite zone latérale d'évolution serrée.

Avantageusement, les moyens de détection comportent des moyens de notation du niveau de risque attribuant à chaque point des deux  
20 régions latérales d'évolution serrée, une note correspondant à :

- un niveau de risque nul lorsque le point considéré n'appartient à aucun type de région à risque pris en considération,
- un niveau de risque faible lorsque le point considéré n'appartient qu'au troisième type de région à risque ne présentant pas les marges  
25 nécessaires à une libre évolution latérale,
- un niveau de risque moyen lorsque le point considéré appartient au deuxième type de région à risque ne constituant une menace qu'après l'adoption du profil de trajectoire de repli, et
- un niveau de risque élevé lorsque le point considéré appartient au  
30 premier type de région à risque constituant une menace car au-dessus des capacités actuelles de franchissement du mobile ou/et réglementairement interdites de franchissement,

les moyens d'alarmes délivrant un niveau d'alarme correspondant à la note de plus fort niveau de risque affectée aux points des deux régions latérales  
35 d'évolution serrée et signalant le côté de provenance de la menace par prise

en compte de la nature droite ou gauche de la ou des régions latérales d'évolution serrée comportant les points à plus forte notation de risque.

Avantageusement, le dispositif comporte des moyens d'affichage montrant la zone d'évolution sélectionnée sous la forme d'une carte de zones  
5 à risques présentant sous des apparences distinctes chacun des types pris en compte de région à risque et la partie de la zone d'évolution sélectionnée complémentaire aux différents types pris en compte de région à risque.

Avantageusement, le mobile est un aéronef, le premier type de région à risque correspondant aux régions infranchissables pour l'aéronef en  
10 supposant qu'il acquiert, après un temps d'anticipation fixé arbitrairement, une pente maximum de montée ou/et aux régions dont le franchissement lui est réglementairement interdit, le deuxième type de région à risque correspondant aux régions infranchissables par l'aéronef en supposant qu'il se mette en palier horizontal après un temps d'anticipation fixé arbitrairement  
15 et le troisième type de région à risque correspondant à des franges marginales entourant les régions des premier et deuxième types, de largeur correspondant à celle nécessaire à l'aéronef pour effectuer un virage à plat complet au rayon le plus court autorisé et les deux régions latérales d'évolution serrée correspondant à un changement de direction d'amplitude  
20 arbitraire au cours d'un virage de rayon de courbure également arbitraire.

Avantageusement, lorsque le mobile est un aéronef, les déterminations des régions latérales d'évolution serrées tiennent compte du vent local.

L'invention a également pour objet une carte de niveaux de risque  
25 obtenue par le dispositif précédent de signalisation de risque remarquable en ce qu'elle affiche de manière distincte, au sein d'une zone d'évolution, un premier type de région inaccessible au mobile en raison de ses capacités de franchissement du moment et/ou réglementairement interdites de franchissement, un deuxième type de région inaccessible au mobile après  
30 l'adoption d'un profil de trajectoire de repli et les parties de la zone d'évolution complémentaires aux différents types de région pris en compte.

Avantageusement, la carte de niveaux de risque affiche, également de manière distincte, un troisième type de région constituant des marges nécessaires, autour des premier et deuxième types de région pour  
35 une libre évolution latérale du mobile.

Avantageusement, la carte de niveaux de risque présente, également de manière distincte, deux régions latérales d'évolution serrée, placées à droite et à gauche par rapport à la position occupée par le mobile et à la direction de la route qu'il suit et définies à partir des amplitudes  
5 arbitraires d'un changement de direction et d'un rayon de virage.

Elle a également pour objet un procédé d'élaboration de carte de niveau de risque comportant les étapes suivantes :

- élaboration de contours d'un premier type de région à risque par application, aux éléments d'une base de données d'élévations du terrain couvrant la zone d'évolution du mobile, d'une transformée de distance contrainte ayant, pour point source, un point au voisinage de la position instantanée du mobile et, pour contrainte, un profil de trajet adoptant, au bout d'un temps d'anticipation fixé arbitrairement, la pente de montée maximale admise pour le mobile, et  
10 complémentation des régions du premier type de région à risque par des régions à franchissement réglementairement interdit dont les contours sont extraits d'une base de données de zones interdites,
- élaboration des régions appartenant au deuxième type de région à risque par application, aux éléments de la base de données d'élévations du terrain, d'une transformée de distance contrainte ayant, pour point source, un point au voisinage de la position instantanée du mobile et, pour contrainte, un profil de trajet adoptant, au bout d'un temps d'anticipation fixé arbitrairement, la pente du profil de trajectoire de repli, et  
20
- attribution d'apparences distinctes aux points des premier et deuxième types de région à risque  
25

Avantageusement, le procédé d'élaboration de carte de niveau de risque comporte en outre les étapes suivantes :

- détermination, en fonction des performances du mobile, d'une distance horizontale minimum de manœuvre permettant au mobile d'effectuer un virage complet,  
30
- estimation des distances par rapport aux contours des premier et deuxième types de région à risque au moyen d'une transformée de distance ayant les premier et deuxième types de région à risque comme points source, et  
35

- placement de contours autour des premier et deuxième types de région à risques aux plus faibles distances respectant à la fois la distance horizontale minimum de manœuvre et une distance verticale minimum par rapport au relief, et adoption de ces contours en tant que contours des régions de troisième type.

Avantageusement, le procédé d'élaboration de carte comporte en outre les étapes suivantes :

- élaboration, de part et d'autre de la position instantanée du mobile et de sa route instantanée, de deux régions latérales d'évolution serrée, liées à la position instantanée du mobile et définies à partir de la trace au sol de la trajectoire qui serait parcourue par le mobile s'il effectuait un changement de direction, d'une ampleur déterminée, au cours d'un virage à rayon de courbure également déterminé sur l'un et l'autre des côtés du mobile, et
- marquage distinctif des points des deux régions latérales d'évolution serrée en fonction de leur appartenance à des régions de premier, deuxième ou troisième type.

Avantageusement, lorsque le mobile est un aéronef, il est tenu compte, dans le procédé d'élaboration de carte, des effets des dérives dues à la force et à la direction du vent local, sur les traces au sol des trajectoires prises en compte pour l'élaboration des deux régions latérales d'évolution serrée.

En variante, le procédé d'élaboration de la carte comporte les étapes suivantes :

- élaboration, de part et d'autre de la position instantanée du mobile et de sa route instantanée, de deux régions latérales d'évolution serrée, liées à la position instantanée du mobile et correspondant, sur un côté et sur l'autre, aux surfaces comprises entre deux virages complets du mobile effectués d'un même côté avec des rayons de courbure différents, et
- marquage distinctif des points des deux régions latérales d'évolution serrée en fonction de leur appartenance à des régions de premier, deuxième ou troisième type.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront de la description ci-après d'un exemple de mode de réalisation dans le cadre d'un mobile du genre aéronef. Cette description sera faite en regard du dessin dans lequel :

- 5 - une figure 1 illustre un exemple de repérage, sur une zone d'évolution d'un aéronef, de régions appartenant à un premier type de région correspondant aux régions de la zone d'évolution dont le franchissement est présentement hors de portée de l'aéronef ou qui font l'objet d'un règlement d'interdiction de franchissement,
- 10 - une figure 2 montre un profil vertical de trajectoire de vol suivi par un aéronef cherchant à prendre une pente de montée maximale,
- une figure 3 représente un exemple de masque de chanfrein utilisable par une transformée de distance par propagation,
- des figures 4a et 4b montrent les cellules du masque de chanfrein  
15 illustré à la figure 3, qui sont utilisées dans une passe de balayage selon l'ordre lexicographique et dans une passe de balayage selon l'ordre lexicographique inverse,
- une figure 5 illustre un exemple de repérage, sur la même zone d'évolution que la figure 1, de régions appartenant à un deuxième type  
20 de région à risque correspondant aux régions de la zone d'évolution dont le franchissement devient hors de portée de l'aéronef lorsqu'il adopte, depuis sa position instantanée, un profil de trajectoire de repli à pente nulle,
- une figure 6 montre un profil vertical de trajectoire correspondant à  
25 une remise à plat d'un aéronef initialement en descente,
- une figure 7 illustre un exemple de repérage, sur la même zone d'évolution que les figures 1 et 5, de régions appartenant à un troisième type de région à risque où l'aéronef a sa liberté d'évolution latérale limitée par la proximité des régions appartenant aux premier  
30 et/ou deuxième types de région à risque,
- une figure 8 montre les trajectoires considérées pour estimer la distance horizontale minimale nécessaire à une libre évolution latérale de l'aéronef,
- une figure 9 illustre un exemple de repérage, sur la même zone  
35 d'évolution que les figures 1, 5 et 7, de chaque côté de la position

instantanée de l'aéronef, par rapport à sa route, de deux régions latérales droite et gauche, d'évolution serrée présentant une première configuration,

- une figure 10 illustre, dans un repère air lié à l'aéronef, les trajectoires  
5 circulaires suivies par un aéronef effectuant un virage à plat de même rayon de courbure, sur le côté droit et sur le côté gauche,
- une figure 11 montre les traces au sol correspondant aux virages illustrés à la figure 10, en présence d'un vent local,
- une figure 12 illustre un deuxième exemple de repérage, sur la même  
10 zone d'évolution que les figures 1, 5, 7 et 9, de chaque côté de la position instantanée de l'aéronef, par rapport à sa route, de deux régions latérales droite et gauche, d'évolution serrée présentant une deuxième configuration,
- une figure 13 illustre un troisième exemple de repérage, sur la même  
15 zone d'évolution que les figures 1, 5, 7, 9 et 12, de chaque côté de la position instantanée de l'aéronef, par rapport à sa route, de deux régions latérales droite et gauche, d'évolution serrée présentant une troisième configuration,
- une figure 14 illustre, sur la même zone d'évolution que les figures 1,  
20 5, 7 et 12, un exemple de notations de niveau de risque, des mailles de la grille de localisation appartenant à des régions latérales droite et gauche, d'évolution serrée,
- une figure 15 est un diagramme illustrant les principales étapes d'un  
25 procédé conforme à l'invention, de notation du niveau de risque présenté par un point appartenant à une zone d'évolution où des régions à risques du premier, deuxième et troisième types et des régions latérales droite et gauche d'évolution serrée ont été repérées, et
- une figure 16 représente un schéma de dispositif de signalisation de  
30 risque selon l'invention.

La signalisation des risques associés aux différents points d'une zone de terrain au-dessus de laquelle évolue un aéronef est basée sur une sélection d'une zone du globe terrestre au-dessus de laquelle évolue

l'aéronef puis sur une cartographie de la zone sélectionnée et sur un repérage sur la carte obtenue de différents types de régions à risque.

La sélection de la zone du globe terrestre concernée ainsi que les déterminations de son étendue et de son orientation se font d'une part, à  
5 partir d'informations concernant la position instantanée de l'aéronef ainsi que le module et la direction de son vecteur vitesse instantanée donnés par les instruments du bord et d'autre part, à partir d'instructions données par l'équipage de l'aéronef.

La cartographie de la zone du globe terrestre sélectionnée est  
10 élaborée à partir d'une base de données d'élévations du terrain et de zones réglementairement interdites, embarquée ou consultable depuis l'aéronef. Elle consiste en une sélection de points de la zone concernée du globe terrestre au moyen d'une grille de localisation qui est soit :

- une grille régulière en distance, alignée sur les méridiens et  
15 parallèles,
- une grille régulière en distance alignée sur le cap de l'aéronef,
- une grille régulière en distance alignée sur la route de l'aéronef,
- une grille régulière en angulaire, alignée sur les méridiens et  
parallèles,
- 20 - une grille régulière en angulaire alignée sur le cap de l'aéronef,
- une grille régulière en angulaire alignée sur la route de l'aéronef.
- une représentation polaire (radiale) centrée sur l'aéronef et son cap,
- une représentation polaire (radiale) centrée sur l'aéronef et sa route.

25 Dans la suite de la description, on utilise une grille de localisation régulière en distance, alignée sur les méridiens et parallèles, et définie par ses coins nord-ouest ( $NO_{LAT}$  et  $NO_{LON}$ ) et sud-est ( $SE_{LAT}$   $SE_{LON}$ ), avec pour résolution angulaire,  $RES_{LAT}$  sur l'axe des latitudes et  $RES_{LON}$  sur l'axe des longitudes.

30 Dans les figures, les proportions entre les mailles de la grille de localisation et les surfaces des différents types de région à risque ne sont pas respectées en vue d'améliorer la lisibilité. En outre, et de manière générale, les éléments de pavage ou mailles de la grille de localisation sont marqués d'un chiffre prenant la valeur 0 en l'absence de risque à signaler et  
35 une valeur différente de zéro dans le cas contraire.

La figure 1 montre le repérage d'un premier type  $Z_{CLIMB}$  de région à risque constitué des régions infranchissables par l'aéronef car au-dessus de ses capacités de franchissement du moment ou/et de régions réglementairement interdites de survol. Ce repérage se fait par un marquage

5  $Z_{CLIMB}(i, j)$  des cellules du maillage de la grille de localisation appartenant à la zone d'évolution sélectionnée, prenant la valeur 1 pour les cellules du maillage contenues en totalité ou en partie dans des régions infranchissables et la valeur 0 pour les autres.

Les régions infranchissables par l'aéronef car au-dessus de ses

10 capacités de franchissement du moment sont celles qui ne peuvent être survolées par l'aéronef en respectant une hauteur de sécurité et en adoptant une pente de montée maximale sur une trajectoire directe de rejointe.

Elles peuvent être déterminées par un système embarqué de prévention des risques de collision avec le sol de type TAWS qui les

15 assimilent souvent à une coupe de niveau horizontal du relief faite à l'altitude de la région la plus proche de l'aéronef interceptant un volume de protection lié à l'aéronef, tourné en direction du mouvement de l'aéronef et avec un profil vertical inférieur correspondant à celui de la trajectoire verticale que suivrait l'aéronef s'il prenait, au bout d'un temps d'anticipation arbitraire, la

20 pente de montée maximale que lui autorisent ses performances du moment.

La figure 2 illustre le profil vertical de trajectoire adopté par un système TAWS, pour la détermination du niveau de la coupe horizontale du relief adoptée pour la représentation des régions infranchissables. L'aéronef

1 est supposé suivre initialement une trajectoire de descente 2 et, au bout

25 d'un temps d'anticipation  $Ta_1$ , tenant compte du temps de réaction de l'équipage et du temps nécessaire à l'arrondi de changement de pente, prendre une trajectoire en montée 3 avec la pente maximale possible compte tenu de ses performances de vol du moment.

Les régions infranchissables par l'aéronef car au-dessus de ses

30 capacités de franchissement peuvent être déterminées autrement qu'en les assimilant à une intrusion du relief dans un volume de protection lié à l'aéronef. Elles peuvent, par exemple être déterminées au moyen d'une transformée de distance contrainte ayant, pour point source, un point au voisinage de la position instantanée du mobile, pour contrainte statique, les

35 zones interdites de franchissement par la réglementation et, pour contrainte

dynamique, un profil vertical de trajet correspondant à celui de la figure 2. Dans ce cadre, les zones infranchissables apparaissent comme étant à une distance nettement supérieure à la distance en ligne droite.

Les transformées de distance souvent dites par propagation ou à  
5 masque de chanfrein permettent d'estimer des distances curvilignes entre des objets ou entre un point d'origine dit point source et un point de destination en tenant compte de contraintes tels que des obstacles à contourner. La demande de brevet français déposée par la demanderesse le 26/9/2003, sous le n°0311320 en donne un exemple d'utilisation pour estimer  
10 la distance d'un aéronef aux différents points d'une zone d'évolution sélectionnés dans une base de données d'élévations du terrain en tenant compte d'un profil vertical de vol imposé à l'aéronef.

Les transformées de distance à masque de chanfrein sont apparues initialement en analyse d'image pour estimer des distances entre  
15 objets. Gunilla Borgefors en décrit des exemples dans son article intitulé "Distance Transformation in Digital Images." paru dans la revue : Computer Vision, Graphics and Image Processing, Vol. 34 pp. 344-378 en février 1986.

La distance d'entre deux points d'une surface est la longueur minimale de tous les parcours possibles sur la surface partant de l'un des  
20 points et aboutissant à l'autre. Dans une image formée de pixels répartis selon un maillage régulier de lignes, colonnes et diagonales, une transformée de distance par propagation estime la distance d'un pixel dit pixel "but" par rapport à un pixel dit pixel "source" en construisant progressivement, en partant du pixel source, le plus court trajet possible  
25 suivant le maillage des pixels et aboutissant au pixel but, et en s'aidant des distances trouvées pour les pixels de l'image déjà analysés et d'un tableau dit masque de chanfrein répertoriant les valeurs des distances entre un pixel et ses proches voisins.

Comme montré à la figure 3, un masque de chanfrein se présente  
30 sous la forme d'un tableau avec une disposition de cases reproduisant le motif d'un pixel entouré de ses proches voisins. Au centre du motif, une case affectée de la valeur 0 repère le pixel pris pour origine des distances répertoriées dans le tableau. Autour de cette case centrale, s'agglomèrent des cases périphériques remplies de valeurs de distance de proximité non  
35 nulles et reprenant la disposition des pixels du voisinage d'un pixel supposé

occuper la case centrale. La valeur de distance de proximité figurant dans une case périphérique est celle de la distance séparant un pixel occupant la position de la case périphérique concernée, d'un pixel occupant la position de la case centrale. On remarque que les valeurs de distance de proximité se répartissent en cercles concentriques. Un premier cercle de quatre cases correspondant aux quatre pixels de premier rang, qui sont les plus proches du pixel de la case centrale, soit sur la même ligne, soit sur la même colonne, sont affectées d'une valeur de distance de proximité D1. Un deuxième cercle de quatre cases correspondant aux quatre pixels de deuxième rang, qui sont pixels les plus proches du pixel de la case centrale placés sur les diagonales, sont affectées d'une valeur de distance de proximité D2. Un troisième cercle de huit cases correspondant aux huit pixels de troisième rang, qui sont les plus proches du pixel de la case centrale tout en restant en dehors de la ligne, de la colonne et des diagonales occupées par le pixel de la case centrale, sont affectées d'une valeur de distance de proximité D3.

Le masque de chanfrein peut couvrir un voisinage plus ou moins étendu du pixel de la case centrale en répertoriant les valeurs des distances de proximité d'un nombre plus ou moins important de cercles concentriques de pixels du voisinage. Il peut être réduit aux deux premiers cercles formés par les pixels du voisinage d'un pixel occupant la case centrale ou être étendu au-delà des trois premiers cercles formés par les pixels du voisinage du pixel de la case centrale. Il est habituel de s'arrêter à trois premiers cercles comme pour le masque de chanfrein montré à la figure 3.

Les valeurs des distances de proximité D1, D2, D3 qui correspondent à des distances euclidiennes sont exprimées dans une échelle dont le facteur multiplicatif autorise l'emploi de nombres entiers au prix d'une certaine approximation. C'est ainsi que G. Borgefors adopte une échelle correspondant à un facteur multiplicatif 3 ou 5. Dans le cas d'un masque de chanfrein retenant les deux premiers cercles de valeurs de distance de proximité, donc de dimensions 3x3, G. Borgefors donne, à la première distance de proximité D1 qui correspond à un échelon en abscisse ou en ordonnée et également au facteur multiplicatif d'échelle, la valeur 3 et, à la deuxième distance de proximité qui correspond à la racine de la somme des carrés des échelons en abscisse et en ordonnée  $\sqrt{x^2 + y^2}$ , la valeur 4.

Dans le cas d'un masque de chanfrein retenant les trois premiers cercles, donc de dimensions 5x5, elle donne, à la distance D1 qui correspond au facteur multiplicatif d'échelle, la valeur 5, à la distance D2, la valeur 7 qui est une approximation de  $5\sqrt{2}$ , et à la distance D3 la valeur 11 qui est une

5 approximation de  $5\sqrt{5}$ .

La construction progressive du plus court trajet possible allant à un pixel but en partant d'un pixel source et en suivant le maillage des pixels se fait par un balayage régulier des pixels de l'image au moyen du masque de chanfrein.

10 Initialement, les pixels de l'image se voient affecter une valeur de distance infinie, en fait un nombre suffisamment élevé pour dépasser toutes les valeurs des distances mesurables dans l'image, à l'exception du ou des pixels source qui se voient affecter une valeur de distance nulle. Puis les valeurs initiales de distance affectées aux points but sont mises à jour au

15 cours du balayage de l'image par le masque de chanfrein, une mise à jour consistant à remplacer une valeur de distance attribuée à un point but, par une nouvelle valeur moindre résultant d'une estimation de distance faite à l'occasion d'une nouvelle application du masque de chanfrein au point but considéré.

20 Une estimation de distance par application du masque de chanfrein à un pixel but consiste à répertorier tous les trajets allant de ce pixel but au pixel source et passant par un pixel du voisinage du pixel but dont la distance a déjà été estimée au cours du même balayage, à rechercher parmi les trajets répertoriés, le ou les trajets les plus courts et à

25 adopter la longueur du ou des trajets les plus courts comme estimation de distance. Cela se fait en plaçant le pixel but dont on veut estimer la distance dans la case centrale du masque de chanfrein, en sélectionnant les cases périphériques du masque de chanfrein correspondant à des pixels du voisinage dont la distance vient d'être mise à jour, en calculant les longueurs

30 des trajets les plus courts reliant le pixel but à mettre à jour au pixel source en passant par un des pixels sélectionnés du voisinage, par addition de la valeur de distance affectée au pixel du voisinage concerné et de la valeur de distance de proximité donnée par le masque de chanfrein, et à adopter, comme estimation de distance, le minimum des valeurs de longueur de trajet

obtenues et de l'ancienne valeur de distance affectée au pixel en cours d'analyse.

Au niveau d'un pixel en analyse par le masque de chanfrein, la recherche progressive des plus courts trajets possibles partant d'un pixel source et allant aux différents pixels but de l'image donne lieu à un phénomène de propagation en directions des pixels qui sont les voisins les plus proches du pixel en analyse et dont les distances sont répertoriées dans le masque de chanfrein. Dans le cas d'une répartition régulière des pixels de l'image, les directions des plus proches voisins d'un pixel ne variant pas sont considérées comme des axes de propagation de la transformée de distance à masque de chanfrein.

L'ordre de balayage des pixels de l'image influe sur la fiabilité des estimations de distance et de leurs mises à jour car les trajets pris en compte en dépendent. En fait, il est soumis à une contrainte de régularité qui fait que si les pixels de l'image sont repérés selon l'ordre lexicographique (pixels classés dans un ordre croissant ligne par ligne en partant du haut de l'image et en progressant vers le bas de l'image, et de gauche à droite au sein d'une ligne), et si un pixel  $p$  a été analysé avant un pixel  $q$  alors un pixel  $p+x$  doit être analysé avant le pixel  $q+x$ . Les ordres lexicographique, lexicographique inverse (balayage des pixels de l'image ligne par ligne de bas en haut et, au sein d'une ligne, de droite à gauche), lexicographique transposé (balayage des pixels de l'image colonne par colonne de gauche à droite et, au sein d'une colonne, de haut en bas), lexicographique transposé inverse (balayage des pixels par colonnes de droite à gauche et au sein d'une colonne de bas en haut) satisfont cette condition de régularité et plus généralement tous les balayages dans lesquels les lignes et colonnes sont balayées de droite à gauche ou de gauche à droite. G. Borgefors préconise un double balayage des pixels de l'image, une fois dans l'ordre lexicographique et une autre dans l'ordre lexicographique inverse.

L'analyse de l'image au moyen du masque de chanfrein peut se faire selon une méthode parallèle ou une méthode séquentielle. Pour la méthode parallèle, on considère les propagations de distance depuis tous les points du masque que l'on fait passer sur la totalité de l'image en plusieurs balayages jusqu'à ce qu'il ne se produise plus de changement dans les estimations de distance. Pour la méthode séquentielle, on ne considère les

propagations de distance que depuis la moitié des points du masque. On fait passer la moitié supérieure du masque sur tous les points de l'image par un balayage suivant l'ordre lexicographique puis la moitié inférieure du masque sur tous les points de l'image selon l'ordre lexicographique inverse.

5           La figure 4a montre, dans le cas de la méthode séquentielle et d'une passe de balayage selon l'ordre lexicographique allant du coin supérieur gauche au coin inférieur droit de l'image, les cases du masque de chanfrein de la figure 3 utilisées pour répertorier les trajets allant d'un pixel but placé sur la case centrale (case indexée par 0) au pixel source en  
10           passant par un pixel du voisinage dont la distance a déjà fait l'objet d'une estimation au cours du même balayage. Ces cases sont au nombre de huit, disposées dans la partie supérieure gauche du masque de chanfrein. Il y a donc huit trajets répertoriés pour la recherche du plus court dont la longueur est prise pour estimation de la distance.

15           La figure 4b montre, dans le cas de la méthode séquentielle et d'une passe de balayage selon l'ordre lexicographique inverse allant du coin inférieur droit au coin supérieur gauche de l'image, les cases du masque de chanfrein de la figure 3 utilisées pour répertorier les trajets allant d'un pixel but placé sur la case centrale (case indexée par 0) au pixel source en  
20           passant par un pixel du voisinage dont la distance a déjà fait l'objet d'une estimation au cours du même balayage. Ces cases sont complémentaires de celles de la figure 4a. Elles sont également au nombre de huit mais disposées dans la partie inférieure droite du masque de chanfrein. Il y a donc encore huit trajets répertoriés pour la recherche du plus court dont la  
25           longueur est prise pour estimation de la distance.

La transformée de distance par propagation dont le principe vient d'être rappelé sommairement a été conçue à l'origine pour l'analyse du positionnement d'objets dans une image mais elle n'a pas tardé à être appliquée à l'estimation des distances sur une carte du relief extraite d'une  
30           base de donnée d'élévations du terrain à maillage régulier de la surface terrestre. En effet, une telle carte ne dispose pas explicitement d'une métrique puisqu'elle est tracée à partir des élévations des points du maillage de la base de données d'élévations du terrain de la zone représentée. Dans ce cadre, la transformée de distance par propagation est appliquée à une  
35           image dont les pixels sont les éléments de la base de données d'élévations

du terrain appartenant à la carte, c'est-à-dire, des valeurs d'élévation associées aux coordonnées géographiques latitude, longitude des nœuds du maillage où elles ont été mesurées, classés, comme sur la carte, par latitude et par longitude croissantes ou décroissantes selon un tableau à deux dimensions de coordonnées latitude et longitude.

Pour une navigation terrain de mobiles tels que des robots, la transformée de distance à masque de chanfrein est utilisée pour estimer des distances curvilignes tenant compte de zones infranchissables en raison de leurs configurations accidentées ou d'une interdiction d'origine réglementaire. Pour ce faire, un attribut de zone interdite peut être associé aux éléments de la base de données d'élévations du terrain figurant dans la carte. Il signale, lorsqu'il est activé, une zone infranchissable ou interdite et inhibe toute mise à jour autre qu'une initialisation, de l'estimation de distance faite par la transformée de distance à masque de chanfrein.

Dans le cas d'un aéronef auquel un profil vertical de vol est imposé, la configuration des zones infranchissables évolue en fonction de l'altitude résultant du suivi du profil vertical de vol. Lors de l'élaboration d'une carte de distances curvilignes couvrant la région survolée, cela se traduit par le fait que la transformée de distance par propagation propage sur les points de l'image constituée par des éléments de la base de données d'élévations du terrain, à la fois, l'altitude que prendrait en ce point l'aéronef après avoir parcouru un trajet de rejoinde de longueur minimale en respectant son profil vertical de vol, dite altitude propagée, et une mesure de distance depuis l'aéronef dite distance propagée et par le fait que la distance propagée en un point n'est prise en compte pour une estimation de distance que si l'altitude propagée associée est supérieure à l'élévation du point considéré figurant dans la base de données. En final, les points appartenant à des zones infranchissables car au-dessus des performances actuelles de franchissement de l'aéronef se retrouvent avec des distances curvilignes estimées très supérieures à leurs distances à vue de l'aéronef, ce qui permet de les distinguer rapidement des autres points de la zone sélectionnée du globe terrestre.

La figure 5 montre le repérage, sur la même zone d'évolution que la figure 1, d'un deuxième type de région à risque  $Z_{LEVEL}$  constitué des régions inaccessibles au mobile après l'adoption d'un profil de trajectoire de

repli correspondant à une remise à plat de la trajectoire de l'aéronef obtenue au bout d'un temps d'anticipation arbitraire. Ce repérage se fait par un marquage  $Z_{LEVEL}(i,j)$  des cellules du maillage de la grille de localisation appartenant à la zone d'évolution sélectionnée, prenant la valeur 1 pour les  
5 cellules du maillage contenues en totalité ou en partie dans des régions inaccessibles après une remise à plat et la valeur 0 pour les autres.

La figure 6 illustre le profil vertical d'une trajectoire de repli aboutissant à une remise à plat. L'aéronef 1 est supposé suivre initialement une trajectoire de descente 2 et, au bout d'un temps d'anticipation  $Ta2$ ,  
10 tenant compte du temps de réaction de l'équipage et du temps nécessaire à l'arrondi de changement de pente, prendre une trajectoire horizontale 4.

La détermination du deuxième type de région à risque  $Z_{LEVEL}$  se fait selon les mêmes méthodes que celle du premier type de région à risque  $Z_{CLIMB}$ , en échangeant le profil vertical de trajectoire représenté à la figure 2  
15 par celui représenté à la figure 6.

La figure 7 montre le repérage, sur la même zone d'évolution que la figure 1, d'un troisième type de région à risque  $Z_{TURN}$  constitué des régions où l'aéronef a une liberté limitée d'évolution latérale du fait de la proximité d'une région à risque du premier ou du deuxième type  $Z_{CLIMB}$  ou  $Z_{LEVEL}$ . Ce  
20 repérage se fait par un marquage  $Z_{TURN}(i,j)$  des cellules du maillage de la grille de localisation appartenant à la zone d'évolution sélectionnée, prenant la valeur 1 pour les cellules du maillage contenues en totalité ou en partie dans des régions à liberté limitée ou inexistante d'évolution latérale et la valeur 0 pour les autres. Il implique le traçage autour des contours des  
25 régions à risque des premier et deuxième types  $Z_{CLIMB}$  et  $Z_{LEVEL}$ , de marges ayant en tout point la largeur minimale nécessaire à l'aéronef pour qu'il conserve sa liberté d'évolution latérale à court ou moyen terme.

Cette largeur minimale tient compte d'un minimum de distance verticale par rapport au relief dicté par des impératifs de sécurité et d'un seuil  
30 de distance horizontal  $S_d$ .

Le minimum de distance verticale par rapport au relief peut être pris en compte au niveau de la base de données d'élévations du terrain ou ultérieurement, au cours d'un pré-tracé consistant à élargir les contours des premiers et deuxième types de région à risque jusqu'à respecter partout le

minimum de distance verticale avant ou après la prise en compte du seuil de distance horizontale Sd.

Le seuil de distance horizontal Sd peut être défini, dans le cas d'un aéronef, à partir des :

- 5           - procédures aéronautiques,
- marges requises de sécurité,
- paramètres actuels de vol de l'aéronef,
- conditions de vol définies par l'enveloppe de vol de l'aéronef.

On peut notamment admettre qu'un aéronef conserve sa liberté  
 10 d'évolution latérale à court ou moyen terme s'il est capable de décrire un hippodrome d'attente, d'un côté ou de l'autre de sa trajectoire actuelle sans modifier sa vitesse actuelle ou être soumis en virage à des contraintes mécaniques dépassant un certain seuil de tolérance exprimé par un angle limite de roulis. Dans cette hypothèse, le seuil de distance à respecter est le  
 15 rayon du cercle circonscrit aux deux trajectoires possibles pour un hippodrome d'attente, augmenté d'une marge de sécurité.

Comme montré à la figure 8, les deux trajectoires 5, 6 possibles pour l'hippodrome d'attente forment deux lobes tangents à la trajectoire actuelle 7 de l'aéronef. Chacune d'elles comporte deux longueurs HLD\_L  
 20 réunies par deux demi-tours de rayon HLD\_T.

La valeur des longueurs HLD\_L est une donnée de configuration définie en temps de vol ou en distance parcourue au sol. La valeur du rayon HLD\_T des demi-tours supposés effectués à plat, à vitesse sol GS et à angle de roulis HLD\_B constant, répond à la relation :

$$25 \quad HLD\_T = \frac{GS^2}{g \times \tan(HLD\_B)}$$

la vitesse sol GS étant une donnée fournie par les équipements de l'aéronef, HLD\_B une donnée de configuration calculée en fonction des performances théoriques de l'aéronef et g l'accélération de la pesanteur.

La valeur du rayon HLD\_R du cercle 8 circonscrit aux deux  
 30 trajectoires possibles 5, 6 pour l'hippodrome d'attente, répond à la relation :

$$HLD\_R = HLD\_T + \sqrt{\left(\frac{HLD\_L}{2}\right)^2 + HLD\_T^2}$$

En final, le seuil de distance horizontale Sd adopté pour la largeur des bandes entourant les obstacles à contourner prend la valeur :

$$Sd = HLD\_M + HLD\_T + \sqrt{\left(\frac{HLD\_L}{2}\right)^2 + HLD\_T^2}$$

HLD\_M étant une marge de sécurité supplémentaire par rapport au rayon HLD\_R du cercle circonscrit aux deux trajectoires possibles de l'hippodrome d'attente.

- 5 Pour placer les contours extérieurs des marges qui constituent le troisième type de région à risque  $Z_{TURN}$  autour des premier et deuxième types de région à risque  $Z_{CLIMB}$  et  $Z_{LEVEL}$ , à une distance correspondant au seuil de distance horizontale Sd, on peut à nouveau faire appel à la transformée de distance par propagation ou de chanfrein mais cette fois en
- 10 vue d'estimer des distances par rapport aux contours d'objets constitués des premier et deuxième types de région à risque  $Z_{CLIMB}$  et  $Z_{LEVEL}$  éventuellement élargi pour tenir compte de la distance verticale minimum à respecter par rapport au relief. On peut également faire appel à une autre transformée de distance dite transformée de distance à vecteur ("Vector Distance Transform"
- 15 en anglo-saxon ou encore "Signed Euclidian Distance Transform"). Per-Erik Danielsson en décrit des exemples dans un article intitulé " Euclidian distance mapping" Computer Vision, Graphics and Image Processing, Vol. 14 pp. 227-248 en 1980.

Cette transformée de distance à vecteur est basée sur le fait que

20 la localisation d'un pixel peut être déduite des localisations de ses plus proches voisins. Elle reprend le principe d'une transformée de distance à masque de chanfrein mais avec un masque constitué d'un tableau rassemblant les composantes, en unités d'axes du repère de référence, (abscisse x et ordonnée y dans le cas 2D) des distances séparant le pixel en

25 analyse placé au centre du masque, des pixels qui sont ses plus proches voisins, distances qui sont orientées en direction du pixel en analyse. Ainsi chaque pixel d'une image soumise à une transformation de distance à vecteur est affecté des composantes d'un vecteur de localisation.

La figure 9 montre le repérage sur la même zone d'évolution que

30 les figures 1, 5 et 7 de deux zones latérales d'évolution serrée  $Z_{EVOL}$  liées à l'aéronef, placées à la droite et à la gauche de sa route et constituées des mailles de la zone d'évolution traversées par les traces au sol, en présence d'un vent local, de deux virages serrés, de même rayon de courbure, effectués par l'aéronef sur son côté droit et sur son côté gauche, dans son

plan de descente ou de montée ou dans un plan horizontal jusqu'à réaliser un changement de route choisi arbitrairement ici égal à un demi-tour. Le rayon de courbure adopté pour les virages serrés peut être, sans que cela soit nécessairement le cas, le plus petit rayon de courbure acceptable sur le

5 moment en fonction des performances de l'aéronef et des conditions de confort à respecter. Le repérage se fait par un marquage  $Z_{EVOL}(i, j)$  des cellules du maillage de la grille de localisation appartenant à la zone d'évolution sélectionnée, prenant la valeur 1 pour les cellules du maillage

10 serrée  $Z_{EVOL}$ , la valeur -1 pour les cellules du maillage contenues en totalité ou en partie dans la zone latérale gauche d'évolution serrée  $Z_{EVOL}$  et la valeur 0 pour les autres. Il permet de distinguer les points des deux zones latérales d'évolution serrée  $Z_{EVOL}$ , entre elles et vis à vis du reste de la zone d'évolution sélectionnée.

15 Sans vent, comme montré à la figure 10, un aéronef effectuant un virage à plat, sur sa droite ou sur sa gauche, avec un rayon de courbure R suit des traces au sol correspondant à deux cercles 10, 11 de rayon R passant par la position de l'aéronef, ayant une tangente commune orientée selon le cap de l'aéronef (vecteur  $\vec{Y}$ ). Ces cercles 10, 11 répondent au

20 système d'équations paramétriques :

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}(t) = \begin{pmatrix} \delta \cdot R \cdot [1 - \cos(\omega t + \gamma)] \\ R \cdot \sin(\omega t + \gamma) \end{pmatrix}$$

avec

25

$$R = \frac{TAS^2}{g \cdot \tan \phi_{roll}}$$

$$\omega = \frac{TAS}{R} = \frac{g \cdot \tan \phi_{roll}}{TAS}$$

$\phi_{roll}$  étant l'angle de roulis de l'aéronef pendant la manœuvre,  
 $\gamma$  étant un facteur dépendant des conditions initiales,  
 $\delta$  étant un coefficient égal à +1 pour un virage à droite et -1 pour un virage à

30 gauche.

La vitesse air de l'aéronef, lorsqu'il parcourt ces cercles s'écrit alors:

$$\begin{pmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \end{pmatrix}(t) = \begin{pmatrix} \delta . R w . \sin (w t + \gamma) \\ R w . \cos (w t + \gamma) \end{pmatrix} \quad (1)$$

En supposant le vent local constant en vitesse et en direction, les cercles 10, 11 laissent au sol une trace en forme de cycloïde. Le système d'équations paramétriques de cette trace, peut être obtenue par intégration  
5 du système d'équations paramétriques de la vitesse air de parcours sur les cercles.

Lorsque l'on tient compte du vent, le système (1) d'équations paramétriques de la vitesse de l'aéronef, exprimé dans un repère sol X Y dont l'axe des ordonnées Y est orienté selon le cap de l'aéronef, devient :

$$10 \quad \begin{pmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \end{pmatrix}(t) = \begin{pmatrix} \delta . R w . \sin (w t + \gamma) + W S_x \\ R w . \cos (w t + \gamma) + W S_y \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$\begin{pmatrix} W S_x \\ W S_y \end{pmatrix} \text{ étant le vecteur vent}$$

Par intégration, on obtient, dans ce repère sol, le système d'équations paramétriques de la trace :

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}(t) = \begin{pmatrix} W S_x . t - \delta . R . \cos (w t + \gamma) + C_x \\ W S_y . t + R . \sin (w t + \gamma) + C_y \end{pmatrix}$$

15  $C_x$  et  $C_y$  étant des constantes d'intégration qui dépendent du repère considéré.

Dans un repère air  $X_h Y_h$  dont l'axe des ordonnées Y est orienté selon le cap (heading) de l'aéronef le système d'équations paramétriques (1)  
20 devient :

$$\begin{pmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \end{pmatrix}_{t=0} = \begin{pmatrix} \delta . R w . \sin (w t + \gamma) + W S_{X_h} \\ R w . \cos (w t + \gamma) + W S_{Y_h} \end{pmatrix} \quad (3)$$

Par intégration, il donne, dans ce repère air, le système d'équations  
25 paramétriques de la trace :

## 23

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}_h(t) = \begin{pmatrix} WS_{Xh} \cdot t - \delta \cdot R \cdot \cos(\omega t + \gamma_h) + C_{Xh} \\ WS_{Yh} \cdot t + R \cdot \sin(\omega t + \gamma_h) + C_{Yh} \end{pmatrix} \quad (4)$$

La condition initiale de position est :

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}_{t=0} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (5)$$

car l'aéronef est initialement au centre du repère. La condition initiale de vitesse est :

$$\begin{pmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \end{pmatrix}_{t=0} = \begin{pmatrix} WS_{Xh} \\ TAS + WS_{Yh} \end{pmatrix} \quad (6)$$

10

car l'aéronef a un vecteur vitesse orienté initialement selon l'axe de route.

A l'instant initial  $t=0$ , le système d'équation (3) donne pour vitesse air initiale :

$$\begin{pmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \end{pmatrix}_{t=0} = \begin{pmatrix} \delta \cdot R \omega \cdot \sin(\gamma) + WS_{Xh} \\ R \omega \cdot \cos(\gamma) + WS_{Yh} \end{pmatrix}$$

15

La condition de vitesse initiale (relation 6) implique :

$$\begin{cases} \cos(\gamma_h) = 1 \\ \sin(\gamma_h) = 0 \end{cases} \Rightarrow \gamma_h = 0 \quad (7)$$

20

En tenant compte de ces relations (7) dans le système d'équations (4), il vient :

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}_h(0) = \begin{pmatrix} -\delta \cdot R + C_{Xh} \\ C_{Yh} \end{pmatrix}$$

25 et la condition de position initiale (relation 5) implique :

$$C_{Xh} = \delta \cdot R.$$

$$C_{Yh} = 0$$

Dans un repère sol  $X_t Y_t$ , dont l'axe des ordonnées  $Y_t$  est orienté selon la route (track) de l'aéronef, le système d'équations paramétriques (1) devient :

5

$$\begin{pmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \end{pmatrix}_t = \begin{pmatrix} \delta . R w . \sin(wt + \gamma_t) + WS_{X_t} \\ R w . \cos(wt + \gamma_t) + WS_{Y_t} \end{pmatrix}$$

Par intégration, il donne, dans ce repère sol, le système d'équations paramétriques de la trace :

10

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}_t = \begin{pmatrix} WS_{X_t} . t - \delta . R . \cos(wt + \gamma_t) + C_{X_t} \\ WS_{Y_t} . t + R . \sin(wt + \gamma_t) + C_{Y_t} \end{pmatrix}$$

La condition de position initiale :

15

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}_t(0) = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

exprimant que l'aéronef est initialement au centre du repère, et celle de vitesse initiale :

$$\begin{pmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \end{pmatrix}_t(0) = \begin{pmatrix} 0 \\ GS \end{pmatrix}$$

20

exprimant que l'aéronef a un vecteur vitesse orienté initialement selon l'axe de route  $\vec{i}$  conduisent aux valeurs de constantes d'intégration :

$$C_{X_t} = \delta . R . \cos(\gamma_t)$$

$$C_{Y_t} = -R . \sin(\gamma_t)$$

25

$$\gamma_t = -\delta . (Track - Heading)$$

Dans le repère géographique  $X_g Y_g$ , utilisé par la carte de distances, le système d'équations paramétriques (1) devient :

## 25

$$\begin{pmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \end{pmatrix}_g(t) = \begin{pmatrix} \delta . R w . \sin(wt + \gamma_g) + WS_{x_g} \\ R w . \cos(wt + \gamma_g) + WS_{y_g} \end{pmatrix}$$

Par intégration, il donne, dans ce repère géographique, le système d'équations paramétriques de la trace :

5

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}_g = \begin{pmatrix} WS_{x_g} . t - \delta . R . \cos(wt + \gamma_g) + C_{x_g} \\ WS_{y_g} . t + R . \sin(wt + \gamma_g) + C_{y_g} \end{pmatrix}$$

La condition de position initiale :

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}_g(0) = \begin{pmatrix} X_0 \\ Y_0 \end{pmatrix}$$

10 et la condition de vitesse initiale :

$$\begin{pmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \end{pmatrix}_g(0) = \begin{pmatrix} GS . \sin(track) \\ GS . \cos(track) \end{pmatrix}$$

conduisent aux valeurs de constantes d'intégration :

$$C_{x_t} = \delta . R . \cos(\gamma_g)$$

15

$$C_{y_t} = -R . \sin(\gamma_g)$$

$$\tan g(\gamma_g) = -\delta . \tan(Heading)$$

ou encore :

$$C_{x_g} = Long + \delta . R . \cos(\gamma_g)$$

$$C_{y_g} = Lat - R . \sin(\gamma_g)$$

20

$$\gamma_g = \delta . Heading + k . \Pi$$

La figure 11 montre les traces au sol 20 et 20' des virages dans le cas d'un vent local de travers soufflant vers la gauche de la route de l'aéronef.

25

Pour arrêter les traces au sol 20 et 20' ainsi paramétrées aux

points P et P' de réalisation d'un changement de route d'amplitude donnée, on peut se baser sur le temps nécessaire à la manœuvre.

Le temps de transition pour changer de cap dépend de la vitesse angulaire de l'avion et donc de son angle de roulis.

5

$$T_{transition} = \frac{H_2 - H_1}{w}$$

avec :

$$w = \frac{TAS}{R} = \frac{g \cdot \tan \phi_{roll}}{TAS}$$

10

Le changement de route (track) dépend en plus des conditions de vent. Le cap (heading) final s'écrit

$$Heading_{final} = \begin{cases} Track_{final} - a \sin\left(\frac{WS_{X_{final}}}{TAS}\right) + 2 \cdot (k+1) \cdot \Pi \\ Track_{final} + a \sin\left(\frac{WS_{X_{final}}}{TAS}\right) + 2 \cdot k \cdot \Pi \end{cases}$$

15

et la durée du temps de transition pour changer de route :

$$T_{transition} = \frac{|Heading_{final} - Heading_{initial}|}{w}.$$

La figure 12 montre, dans un repérage sur la même zone d'évolution que les figures 1, 5, 7 et 9, une variante de configuration des deux zones latérales d'évolution serrée liées à l'aéronef Z<sub>EVOL</sub>. Dans cette variante, les zones latérales d'évolution serrée Z<sub>EVOL</sub> comportent, en plus des mailles de la zone d'évolution traversées par les traces au sol des virages, les mailles de la zones d'évolution incluses au moins en partie à l'intérieur des traces au sol, dans les espaces délimités par des contours fermés formés des deux parties (20, 20' figure 11) des traces au sol des deux cercles (10, 11 figure 10) partant de la position initiale de l'aéronef (point S) jusqu'aux points (P, P' figure 11) correspondant au changement de route

choisi, ici 180°, et de deux droites 21, 21' joignant les extrémités P, P' des deux parties de trace 20, 20' à la position initiale S de l'aéronef. Cela donne aux deux zones latérales d'évolution serrée  $Z_{EVOL}$  une forme à deux lobes en aile de papillon.

5 La figure 13 montre, toujours dans un repérage sur la même zone d'évolution que les figures 1, 5, 7, 9 et 12, une autre variante de configuration des zones latérales d'évolution serrée  $Z_{EVOL}$  où ces dernières correspondent à une plage de rayons de courbure et sont délimitées par deux traces au sol de virages du même côté selon deux rayons de courbure différents, le plus  
10 court pouvant aller jusqu'à s'annuler.

Les contours des trois types de région à risque  $Z_{CLIMB}$ ,  $Z_{LEVEL}$ ,  $Z_{TURN}$  et des deux zones latérales d'évolution serrée  $Z_{EVOL}$  qui viennent d'être déterminés dans la zone d'évolution sélectionnée sont utilisés pour une  
15 signalisation des risques à destination de l'équipage de l'aéronef. Cette signalisation est basée sur une notation du niveau de risque des mailles de la grille de localisation appartenant en totalité ou en partie aux deux zones latérales d'évolution serrée  $Z_{EVOL}$ . Cette notation  $Z_{RISK}$  résulte de l'application au niveau de chaque maille de la grille de localisation appartenant à la zone d'évolution sélectionnée, de la formule :

$$20 \quad Z_{RISK}(i, j) = Z_{EVOL}(i, j) \times [Z_{CLIMB}(i, j) + Z_{LEVEL}(i, j) + Z_{TURN}(i, j)] \quad (8)$$

On rappelle que :

- les mailles sont repérées au sein de la grille de localisation par des coordonnées  $i, j$ ,
- la note  $Z_{EVOL}(i, j)$  vaut +1 lorsque la maille appartient à la zone latérale  
25 d'évolution serrée  $Z_{EVOL}$  située à droite de la route de l'aéronef, -1 lorsque la maille appartient à la zone latérale d'évolution serrée  $Z_{EVOL}$  située à la gauche de la route de l'aéronef et 0 lorsque la maille est en dehors des deux zones latérales d'évolution serrée  $Z_{EVOL}$ ,
- la note  $Z_{CLIMB}(i, j)$  vaut 1 lorsque la maille appartient à une région du  
30 premier type de région à risque  $Z_{CLIMB}$ , infranchissable car au-dessus des capacités de franchissement de l'aéronef ou interdite de franchissement, et 0 dans le cas contraire,
- la note  $Z_{LEVEL}(i, j)$  vaut 1 lorsque la maille appartient à une région du deuxième type de région à risque  $Z_{LEVEL}$ , infranchissable après

l'adoption d'un profil de trajectoire de repli, ici après une remise à plat de l'aéronef, et 0 dans le cas contraire, et

- la note  $Z_{TURN}(i, j)$  vaut 1 lorsque la maille appartient à une région du troisième type de région à risque  $Z_{TURN}$  où l'aéronef n'a pas une entière liberté latérale de manœuvre, et 0 dans le cas contraire.

Les sept valeurs de cette notation (relation 8), correspondent à des risques de collision sol différents qui sont répertoriés dans le tableau ci-après :

| <b>Z<sub>RISK</sub></b> | <b>Interprétation</b>                |
|-------------------------|--------------------------------------|
| -3                      | Risque ELEVE à GAUCHE                |
| -2                      | Risque MOYEN à GAUCHE                |
| -1                      | Risque FAIBLE à GAUCHE               |
| 0                       | Pas de risque mesuré pour la cellule |
| +1                      | Risque FAIBLE à DROITE               |
| +2                      | Risque MOYEN à DROITE                |
| +3                      | Risque ELEVE à DROITE                |

La signalisation des risques de collision sol consiste en l'émission d'alarmes qui dépendent de la note la plus élevée, en valeur absolue, trouvées à chaque instant pour les mailles de la grille de localisation appartenant aux zones latérales d'évolution serrée et qui sont définies

conformément au tableau ci-après :

| <b>Z<sub>RISK</sub></b> | <b>Interprétation</b>       | <b>Risques masqués</b> | <b>Alarmes sonores</b> |
|-------------------------|-----------------------------|------------------------|------------------------|
| -3 et 3                 | Risque ELEVE des deux cotés | -2,-1,+1, +2           | « Avoid TERRAIN »      |
| -3                      | Risque ELEVE à GAUCHE       | -2,-1,+1, +2           | « Avoid LEFT »         |
| +3                      | Risque ELEVE à DROITE       | -2,-1,+1, +2           | « Avoid RIGHT »        |
| -2 et +2                | Risque MOYEN à GAUCHE       | -1, +1                 | « Terrain AROUND »     |
| -2                      | Risque MOYEN à GAUCHE       | -1, +1                 | « Caution LEFT »       |
| +2                      | Risque MOYEN à DROITE       | -1, +1                 | « Caution RIGHT »      |
| -1                      | Risque FAIBLE à GAUCHE      | N/A                    | « Terrain LEFT »       |
| +1                      | Risque FAIBLE à DROITE      | N/A                    | « Terrain RIGHT »      |

Ces différentes alarmes sont communiquées à l'équipage de l'aéronef, soit oralement, soit visuellement sur une carte de navigation, par un marquage distinctif des mailles appartenant aux zones latérales d'évolution serrée, comme montré à la figure 14 concernant la variante de

réalisation avec des zones latérales d'évolution serrée ayant les formes montrées à la figure 12.

On distingue dans la figure 11, superposés au maillage de la grille de localisation quadrillant la zone d'évolution sélectionnée :

- 5        - la position instantanée 30 de l'aéronef avec les contours 31 et 32 des deux zones latérales droite et gauche d'évolution serrée  $Z_{EVOL}$  liées à cette position qui apparaissent déjà dans la figure 12,
- les contours 33 des régions du premier type de région à risque  $Z_{CLIMB}$  montrés à la figure 1, situant les régions interdites de survol et les
- 10        régions infranchissables car au-dessus des capacités de franchissement de l'aéronef,
- les contours 34 des régions du deuxième type de région à risque  $Z_{LEVEL}$  montrés à la figure 5, situant les régions infranchissables dès lors que l'aéronef réalise une manœuvre de remise à plat,
- 15        - les contours 35 des régions du troisième type de région à risque  $Z_{TURN}$  montrés à la figure 7, situant les régions où l'aéronef voit sa liberté d'évolution latérale limitée, et
- les notes de niveau de risque affectées à chaque maille de la grille de localisation en application de la formule de notation précédente.

20        On remarque que, par construction, le premier type de région à risque  $Z_{CLIMB}$  a ses contours 33 inclus dans ceux 34 du deuxième type de région à risque  $Z_{LEVEL}$ . En effet, une portion de terrain non franchissable par l'aéronef utilisant ses meilleures performances en montée reste, a fortiori non franchissable si le pilote effectue une remise à plat. De même les contours

25        34 du deuxième type de région à risque  $Z_{LEVEL}$  sont inclus dans ceux 35 du troisième type de région à risque  $Z_{TURN}$  constituant les marges autour des régions infranchissables nécessaires à une totale liberté d'évolution latérale pour l'aéronef.

      Dans la situation montrée à la figure 14, les points dont la notation

30        de niveau de risque est la plus élevée (notes +3 ou -3) appartiennent à la zone latérale droite d'évolution serrée 31, ce qui motive l'émission, à l'intention de l'équipage de l'aéronef, d'une alarme de risque élevé à droite, soit sonore, soit visuelle, soit à la fois sonore et visuelle.

      L'affichage visuel des alarmes peut se faire par l'affichage, dans le

35        cockpit de l'aéronef, d'une carte de navigation montrant les premier,

deuxième et troisième types de régions à risque  $Z_{CLIMB}$ ,  $Z_{LEVEL}$  et  $Z_{TURN}$  sous des textures différentes et les points des zones latérales droite et gauche d'évolution serrée  $Z_{EVOL}$  dans des couleurs fonction de la note de niveau de risque qui leur est attribuée, par exemple une couleur rouge pour un niveau

5 de risque fort, une couleur jaune soutenu pour un niveau de risque moyen, une couleur jaune délavé pour un niveau de risque faible et une couleur verte pour le reste des points de la carte avec un niveau de risque nul. Il permet de conforter le pilote de l'aéronef dans son évaluation mentale du rayon de virage autorisé à l'aéronef en tenant compte du vent local. Cet affichage peut

10 également montrer les zones latérales d'évolution serrées  $Z_{EVOL}$  qui se présentent comme une sorte de paire de moustaches attachée à la silhouette de l'aéronef et permettent à l'équipage de localiser, d'un coup d'œil, la position relative par rapport à l'aéronef et la configuration d'une région à risque à l'origine d'une alarme sonore.

15 Une manière de procéder à une notation de niveau de risque d'une maille de la grille de localisation d'une zone d'évolution sélectionnée aboutissant au même résultat que la formule (8) est illustrée par l'organigramme logique de la figure 15. Celle ci consiste :

- 20 - au cours d'une première étape 40, à lire la valeur du marquage  $Z_{EVOL}(i, j)$  repérant l'appartenance éventuelle de la maille concernée de coordonnées  $i, j$  dans la grille de localisation, à l'une ou l'autre des zones latérales d'évolution serrées (31, 32 figure 14),
- 25 - au cours d'une deuxième étape 41, à comparer la valeur du marquage  $Z_{EVOL}(i, j)$  avec la valeur nulle 0,
- au cours d'une troisième étape 42 à déclarer un niveau de risque nul lorsque la comparaison de la deuxième étape 41 aboutit à un constat d'égalité,
- 30 - au cours d'une quatrième étape 43, à tester si la valeur du marquage  $Z_{EVOL}(i, j)$  est ou non positive lorsque la comparaison de la deuxième étape 41 aboutit à un constat d'inégalité,
- au cours d'une cinquième étape 44, à décréter une appartenance de la maille concernée à la zone latérale gauche d'évolution serrée lorsque le test de la quatrième étape 43 est négatif,

## 31

- au cours d'une sixième étape 45, à décréter une appartenance de la maille concernée à la zone latérale droite d'évolution serrée lorsque le test de la quatrième étape 43 est positif,
- 5      - au cours d'une septième étape 46, à lire la valeur du marquage  $Z_{CLIMB}(i, j)$  repérant l'appartenance éventuelle de la maille concernée de coordonnées  $i, j$  dans la grille de localisation, à une région inaccessible du premier type de région à risque (33 figure 14),
- 10      - au cours d'une huitième étape 47, à comparer la valeur du marquage  $Z_{CLIMB}(i, j)$  avec la valeur nulle 0 pour constater ou non s'il y a égalité,
- 15      - au cours d'une neuvième étape 48 à déclarer un niveau de risque élevé lorsque la comparaison de la huitième étape 47 aboutit à un constat d'inégalité,
- 20      - au cours d'une dixième étape 49, lorsque la comparaison de la huitième étape 47 aboutit à un constat d'égalité, à lire la valeur du marquage  $Z_{LEVEL}(i, j)$  repérant l'appartenance éventuelle de la maille concernée de coordonnées  $i, j$  dans la grille de localisation, à une région inaccessible du deuxième type de région à risque (34 figure 14),
- 25      - au cours d'une onzième étape 50, à comparer la valeur du marquage  $Z_{LEVEL}(i, j)$  avec la valeur nulle 0,
- 30      - au cours d'une douzième étape 51 à déclarer un niveau de risque moyen lorsque la comparaison de la onzième étape 50 aboutit à un constat d'inégalité,
- 35      - au cours d'une treizième étape 52, lorsque la comparaison de la onzième étape 50 aboutit à un constat d'égalité, à lire la valeur du marquage  $Z_{TURN}(i, j)$  repérant l'appartenance éventuelle de la maille concernée de coordonnées  $i, j$  dans la grille de localisation, à une région à liberté d'évolution latérale limitée appartenant au troisième type de région à risque (35 figure 14),
- 40      - au cours d'une quatorzième étape 53, à comparer la valeur du marquage  $Z_{TURN}(i, j)$  avec la valeur nulle 0,

- au cours d'une quinzième étape 54 à déclarer un niveau de risque faible lorsque la comparaison de la onzième étape 50 aboutit à un constat d'inégalité, et
- au cours d'une seizième étape 42 à déclarer un niveau de risque nul lorsque la comparaison de la quatorzième étape 53 aboutit à un constat d'égalité.

La figure 16 montre un dispositif de signalisation de risques dans son environnement fonctionnel à bord d'un aéronef. Le dispositif de signalisation de risque se compose essentiellement d'un calculateur 60 associé à une base de données d'élévations du terrain et de zones interdites de survol 61 et à des dispositifs d'affichage visuel 62 et sonore 63. La base de données d'élévations du terrain et de zones interdites de survol 61 est représentée comme étant embarquée à bord de l'aéronef mais elle peut tout aussi bien être placée au sol et accessible de l'aéronef par radio-transmission. Le calculateur 60 peut être un calculateur spécifique à la génération des signalisations des risques motivés par la présence de relief ou de zones interdites de survol dans la zone d'évolution de l'aéronef ou un calculateur partagé avec d'autres tâches comme la gestion du vol ou le pilote automatique. En ce qui concerne la signalisation de risque, il reçoit des équipements de navigation 64 de l'aéronef, les principaux paramètres de vol dont la position de l'aéronef en latitude, longitude et altitude, et la direction et l'amplitude de son vecteur vitesse. A partir de ces paramètres de vol et d'instructions éventuelles provenant du pilote de l'aéronef, il détermine à chaque instant :

- la position à la surface du globe terrestre, l'orientation et les dimensions d'une zone d'évolution où rechercher les différents types de régions à risques et les éventuelles zones à survol interdit,
- les emplacements et les contours des deux zones latérales d'évolution serrée liées à la position instantanée de l'aéronef,
- les profils verticaux de vol correspondant à une mise de l'aéronef en montée à incidence maximale et à une remise à plat, et
- un seuil de distance horizontale pour une libre évolution latérale de l'aéronef.

A partir des informations de la base de données d'élévations du terrain et des zones interdites de survol 61, il extrait une grille de localisation

cartographiant la zone d'évolution sélectionnée. Il place ensuite, sur cette grille de localisation :

- 5       - les contours du premier type de régions à risque qu'il reçoit d'un équipement TAWS 65 où qu'il calcule en tenant compte du profil vertical de vol correspondant à une mise en montée de l'aéronef à incidence maximale, par exemple, au moyen d'une transformée de distance, le placement consistant à élaborer le marquage  $Z_{CLIMB}$  des mailles de la grille de localisation appartenant à la zone d'évolution retenue,
- 10       - les contours du deuxième type de région à risque qu'il calcule en tenant compte du profil vertical de vol correspondant à une remise à plat de l'aéronef, par exemple, au moyen d'une transformée de distance, le placement consistant à élaborer le marquage  $Z_{LEVEL}$  des mailles de la grille de localisation appartenant à la zone d'évolution
- 15       retenue,
- les contours du troisième type de région à risque qu'il calcule en tenant compte des contours des premier et deuxième type de région à risque, d'une distance verticale minimale de survol et du seuil de distance horizontale à respecter, le placement consistant à élaborer le
- 20       marquage  $Z_{TURN}$  des mailles de la grille de localisation appartenant à la zone d'évolution retenue, et
- les contours des deux zones d'évolution latérale serrée, le placement consistant à élaborer le marquage  $Z_{EVOL}$  des mailles de la grille de localisation appartenant à la zone d'évolution retenue,
- 25   Une fois ces différentes zones placées sur la grille de localisation, il procède à l'élaboration d'une image les représentant affichable sur un écran 66 du cockpit, par exemple l'écran de navigation ND, à la notation de niveau de risque des mailles de la grille de localisation appartenant aux deux zones latérales de navigation serrées et, en présence de note de niveau de risque
- 30   non nulle, à l'émission d'alarmes sonores précisant le niveau de risque et la situation à la droite ou à la gauche de l'aéronef de la zone latérale d'évolution serrée contenant la ou les mailles présentant les notes de niveau de risque les plus élevées.

## REVENDICATIONS

1. Dispositif de signalisation de risques encourus par un mobile du  
5 fait d'obstacles réels ou réglementaires situés dans son domaine de progression comportant :

- des moyens de sélection d'une zone d'évolution,
- des moyens de prise en compte de différents types de région à risque de la zone d'évolution sélectionnée, dont un premier type de région à  
10 risque ( $Z_{CLIMB}$ ) constitué de régions inaccessibles au mobile en raison de ses capacités de franchissement du moment ou/et de régions réglementairement interdites de franchissement.

ledit dispositif étant caractérisé en ce qu'il comporte en outre :

- des moyens de détermination d'un deuxième type de région à risque  
15 ( $Z_{LEVEL}$ ) de la zone d'évolution sélectionnée, constitué des régions inaccessibles au mobile après l'adoption d'un profil prévu à l'avance de trajectoire de repli, et
- des moyens de détermination, dans la zone d'évolution sélectionnée, de deux régions latérales d'évolution serrée ( $Z_{EVOL}$ ), à droite et à  
20 gauche par rapport à la position du mobile et à la direction de la route qu'il suit, définies à partir de la trace au sol de la trajectoire qui serait parcourue par le mobile s'il effectuait un changement de direction d'une ampleur déterminée au cours d'un virage à rayon de courbure également déterminé.

25

2. dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comporte en outre :

- des moyens de détermination, dans la zone d'évolution sélectionnée, d'un troisième type de région à risque ( $Z_{TURN}$ ) entourant les régions de  
30 premier et deuxième types ( $Z_{CLIMB}$  et  $Z_{LEVEL}$ ) et constituant des marges nécessaires à une libre évolution latérale du mobile.

3. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comporte en outre :

- des moyens de détection d'appartenance de points des zones latérales d'évolution serrée ( $Z_{EVOL}$ ) à un ou des types de région à risque ( $Z_{CLIMB}$ ,  $Z_{LEVEL}$ ), et
- des moyens d'alarme déclenchés par les moyens de détection à  
5 chaque détection d'une appartenance d'un point d'une zone latérale d'évolution serrée ( $Z_{EVOL}$ ) à au moins un type de région à risque ( $Z_{CLIMB}$  ou  $Z_{LEVEL}$ ).

4. Dispositif selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'il  
10 comporte en outre :

- des moyens de détermination, dans la zone d'évolution sélectionnée, de deux régions latérales d'évolution serrée ( $Z_{EVOL}$ ), à droite et à gauche par rapport à la position du mobile et à la direction de la route qu'il suit, définies à partir de la trace au sol de la trajectoire qui serait  
15 parcourue par le mobile s'il effectuait un changement de direction d'une ampleur déterminée au cours d'un virage à rayon de courbure également déterminé,
- des moyens de détection d'appartenance de points des zones latérales d'évolution serrée ( $Z_{EVOL}$ ) à un ou des types de région à  
20 risque ( $Z_{CLIMB}$ ,  $Z_{LEVEL}$  ou  $Z_{TURN}$ ), et
- des moyens d'alarme déclenchés par les moyens de détection à chaque détection d'une appartenance d'un point d'une zone latérale d'évolution ( $Z_{EVOL}$ ) à au moins un type de région à risque ( $Z_{CLIMB}$ ,  
 $Z_{LEVEL}$  ou  $Z_{TURN}$ ).

25

5. Dispositif selon la revendication 3 ou la revendication 4, caractérisé en ce que les moyens d'alarme engendrent différents niveaux d'alarme selon les types de région à risque ( $Z_{CLIMB}$ ,  $Z_{LEVEL}$ ,  $Z_{TURN}$ ) détectés dans les zones latérales d'évolution serrée ( $Z_{EVOL}$ ).

30

6. Dispositif selon la revendication 3 ou la revendication 4, caractérisé en ce que les moyens d'alarme délivrent des alarmes distinctes dépendant à la fois de la zone latérale d'évolution serrée ( $Z_{EVOL}$ ) concernée, droite ou gauche, et des types de région à risque ( $Z_{CLIMB}$ ,  $Z_{LEVEL}$ ,  $Z_{TURN}$ )  
35 détectés dans ladite zone latérale d'évolution serrée ( $Z_{EVOL}$ ).

7. Dispositif selon la revendication 4, caractérisé en ce que les moyens de détection comportent des moyens de notation du niveau de risque attribuant à chaque point des deux régions latérales d'évolution serrée (Z<sub>EVOL</sub>), une note correspondant à :

- un niveau de risque nul lorsque le point considéré n'appartient à aucun type de région à risque pris en considération,
- un niveau de risque faible lorsque le point considéré n'appartient qu'au troisième type de région à risque (Z<sub>TURN</sub>) ne présentant pas les marges nécessaires à une libre évolution latérale,
- un niveau de risque moyen lorsque le point considéré appartient au deuxième type de région à risque (Z<sub>LEVEL</sub>) ne constituant une menace qu'après l'adoption du profil de trajectoire de repli, et
- un niveau de risque élevé lorsque le point considéré appartient au premier type de région à risque (Z<sub>CLIMB</sub>) constituant une menace car au-dessus des capacités actuelles de franchissement du mobile ou/et réglementairement interdites de franchissement,

les moyens d'alarmes délivrant un niveau d'alarme correspondant à la note de plus fort niveau de risque affectée aux points des deux régions latérales d'évolution serrée (Z<sub>EVOL</sub>) et signalant le côté de provenance de la menace par prise en compte de la nature droite ou gauche de la ou des régions latérales d'évolution serrée (Z<sub>EVOL</sub>) comportant les points à plus forte notation de risque.

8. Dispositif selon la revendication 1 ou la revendication 2, caractérisé en ce qu'il comporte des moyens d'affichage montrant la zone d'évolution sélectionnée sous la forme d'une carte de zones à risques présentant sous des apparences distinctes chacun des types pris en compte de région à risque (Z<sub>CLIMB</sub>, Z<sub>LEVEL</sub>, Z<sub>TURN</sub>) et la partie de la zone d'évolution sélectionnée complémentaire aux différents types pris en compte de région à risque.

9. Dispositif selon la revendication 3, pour aéronef, caractérisé en ce que :

- le premier type de région à risque ( $Z_{CLIMB}$ ) correspond aux régions infranchissables pour l'aéronef en supposant qu'il acquiert, après un temps d'anticipation fixé arbitrairement ( $Ta1$ ), une pente maximum de montée ou/et aux régions dont le franchissement lui est réglementairement interdit,
- le deuxième type de région à risque ( $Z_{LEVEL}$ ) correspond aux régions infranchissables par l'aéronef en supposant qu'il se mette en palier horizontal après un temps d'anticipation fixé arbitrairement ( $Ta2$ ),
- le troisième type de région à risque ( $Z_{TURN}$ ) correspond à des franges marginales entourant les régions des premier et deuxième types ( $Z_{CLIMB}$  et  $Z_{LEVEL}$ ), de largeur correspondant à celle nécessaire à l'aéronef pour effectuer un virage à plat complet au rayon le plus court autorisé, et
- les deux régions latérales d'évolution serrée ( $Z_{EVOL}$ ) correspondent à un changement de direction d'amplitude arbitraire obtenu au cours d'un virage de rayon de courbure arbitraire.

10. Dispositif selon la revendication 3, pour aéronef, caractérisé en ce que les deux régions latérales d'évolution serrée ( $Z_{EVOL}$ ) sont définies à partir des traces laissées au sol, par des trajectoires portées par des virages de même rayon, et déformées par la dérive due au vent local.

11. Carte de niveaux de risque obtenue par un dispositif selon la revendication 1, caractérisée en ce qu'elle affiche, de manière distincte, au sein d'une zone d'évolution, un premier type ( $Z_{CLIMB}$ ) de région inaccessible au mobile en raison de ses capacités de franchissement du moment et/ou réglementairement interdites de franchissement, un deuxième type ( $Z_{LEVEL}$ ) de région inaccessible au mobile après l'adoption d'un profil de trajectoire de repli et les parties de la zone d'évolution complémentaires aux différents types de région pris en compte ( $Z_{CLIMB}$ ,  $Z_{LEVEL}$ ).

12. Carte de niveaux de risque obtenue avec un dispositif selon la revendication 2, caractérisée en ce qu'elle affiche, de manière distincte, au sein d'une zone d'évolution, un premier type ( $Z_{CLIMB}$ ) de région inaccessible au mobile en raison de ses capacités de franchissement du moment et/ou

réglementairement interdites de franchissement, un deuxième type ( $Z_{LEVEL}$ ) de région inaccessible au mobile après l'adoption d'un profil de trajectoire de repli, un troisième type ( $Z_{TURN}$ ) de région constituant des marges nécessaires, autour des premier et deuxième types de région à risque ( $Z_{CLIMB}$  et  $Z_{TURN}$ ) pour une libre évolution latérale du mobile et les parties de la zone d'évolution complémentaires aux différents types de région pris en compte ( $Z_{CLIMB}$ ,  $Z_{LEVEL}$ ,  $Z_{TURN}$ ).

13. Carte de niveaux de risque selon la revendication 11 ou la revendication 12, caractérisé en ce qu'elle affiche, également de manière distincte, deux régions latérales d'évolution serrée ( $Z_{EVOL}$ ), placées à droite et à gauche par rapport à la position occupée par le mobile et à la direction de la route qu'il suit, et définies à partir d'une amplitude arbitraire de changement de direction et d'une amplitude arbitraire de rayon de virage.

15

14. Procédé d'élaboration de carte de niveau de risque selon la revendication 12 caractérisé en ce qu'il comporte les étapes suivantes :

- élaboration de contours de région appartenant au premier type de région à risque ( $Z_{CLIMB}$ ) par application, aux éléments d'une base de données d'élévations du terrain (61) couvrant la zone d'évolution du mobile, d'une transformée de distance contrainte ayant, pour point source, un point au voisinage de la position instantanée du mobile et, pour contrainte, un profil de trajet adoptant au bout d'un temps d'anticipation fixé arbitrairement ( $Ta1$ ), la pente de montée maximale admise pour le mobile, et complémentation des contours des régions ( $Z_{CLIMB}$ ) du premier type de région à risque par les contours de régions à franchissement réglementairement interdit extraits d'une base de données de zones interdites (61),
- élaboration des contours de régions appartenant au deuxième type de région à risque ( $Z_{LEVEL}$ ) par application, aux éléments de la base de données d'élévations du terrain (61), d'une transformée de distance contrainte ayant, pour point source, un point au voisinage de la position instantanée du mobile et, pour contrainte, un profil de trajet adoptant au bout d'un temps d'anticipation fixé arbitrairement ( $Ta2$ ), la pente du profil de trajectoire de repli, et

- attribution d'apparences distinctes aux points des premier et deuxième types de région à risque ( $Z_{CLIMB}$  et  $Z_{LEVEL}$ ).

15. Procédé d'élaboration de carte de niveau de risque selon la  
5 revendication 12 caractérisé en ce qu'il comporte les étapes suivantes :

- élaboration de contours de région appartenant au premier type de région à risque ( $Z_{CLIMB}$ ) par application, aux éléments d'une base de données d'élévations du terrain (61) couvrant la zone d'évolution du mobile, d'une transformée de distance contrainte ayant, pour point  
10 source, un point au voisinage de la position instantanée du mobile et, pour contrainte, un profil de trajet adoptant au bout d'un temps d'anticipation fixé arbitrairement ( $Ta1$ ), la pente de montée maximale admise pour le mobile et complémentation des contours des régions ( $Z_{CLIMB}$ ) du premier type de région à risque par les contours de régions  
15 à franchissement réglementairement interdit extrait d'une base de données de zones interdites (61),
- élaboration des contours de régions appartenant au deuxième type de région à risque ( $Z_{LEVEL}$ ) par application, aux éléments de la base de données d'élévations du terrain (61), d'une transformée de distance  
20 contrainte ayant, pour point source, un point au voisinage de la position instantanée du mobile et, pour contrainte, un profil de trajet adoptant au bout d'un temps d'anticipation fixé arbitrairement ( $Ta2$ ), la pente du profil de trajectoire de repli,
- détermination, en fonction des performances du mobile, d'une  
25 distance horizontale minimum de manœuvre ( $Sd$ ) permettant au mobile d'effectuer un virage complet,
- estimation des distances par rapport aux contours des régions des premier et deuxième types de région à risque ( $Z_{CLIMB}$  et  $Z_{LEVEL}$ ) au  
30 moyen d'une transformée de distance ayant les premier et deuxième types de région à risque ( $Z_{CLIMB}$  et  $Z_{LEVEL}$ ) comme points source,
- placement de contours autour des régions des premier et deuxième type de région à risques ( $Z_{CLIMB}$  et  $Z_{LEVEL}$ ) aux plus faibles distances respectant à la fois la distance horizontale minimum de manœuvre ( $Sd$ ) et une distance verticale minimum par rapport au relief et

adoption de ces contours en tant que contours des régions de troisième type ( $Z_{TURN}$ ), et

- attribution d'apparences distinctes aux points des différents types de région à risque ( $Z_{CLIMB}$ ,  $Z_{LEVEL}$  et  $Z_{TURN}$ ).

5

16. Procédé selon la revendication 14 ou la revendication 15 caractérisé en ce qu'il comporte en outre les étapes suivantes :

- élaboration, de part et d'autre de la position instantanée du mobile et de sa route instantanée, de deux régions latérales d'évolution serrée ( $Z_{EVOL}$ ), liées à la position instantanée du mobile et définies à partir de la trace au sol du mobile effectuant un changement déterminé de direction au cours d'un virage à rayon de courbure également déterminé, et
- marquage distinctif des points des deux régions latérales d'évolution serrée ( $Z_{EVOL}$ ) en fonction de leur appartenance à des régions de premier, deuxième ou troisième type. ( $Z_{CLIMB}$ ,  $Z_{LEVEL}$  et  $Z_{TURN}$ ).

10

15

17. Procédé selon la revendication 16, appliqué à un aéronef, caractérisé en ce que les deux régions latérales d'évolution serrée ( $Z_{EVOL}$ ) sont définies à partir des traces laissées au sol, par des trajectoires portées par des virages de même rayon, déformées par la dérive due au vent local.

20

18. Procédé selon la revendication 14 ou la revendication 15 caractérisé en ce qu'il comporte en outre les étapes suivantes :

- élaboration, de part et d'autre de la position instantanée du mobile et de sa route instantanée, de deux régions latérales d'évolution serrée ( $Z_{EVOL}$ ), liées à la position instantanée du mobile et correspondant, sur un côté et sur l'autre, aux surfaces comprises entre deux virages complets du mobile effectués d'un même côté avec des rayons de courbure différents, et
- marquage distinctif des points des deux régions latérales d'évolution serrée ( $Z_{EVOL}$ ) en fonction de leur appartenance à des régions de premier, deuxième ou troisième type ( $Z_{CLIMB}$ ,  $Z_{LEVEL}$  et  $Z_{TURN}$ ).

25

30

19. Procédé selon la revendication 18, appliqué à un aéronef, caractérisé en ce que les deux régions latérales d'évolution serrée ( $Z_{EVOL}$ ) sont définies à partir des traces laissées au sol, par des trajectoires portées par des virages de même rayon, déformées par la dérive due au vent local.

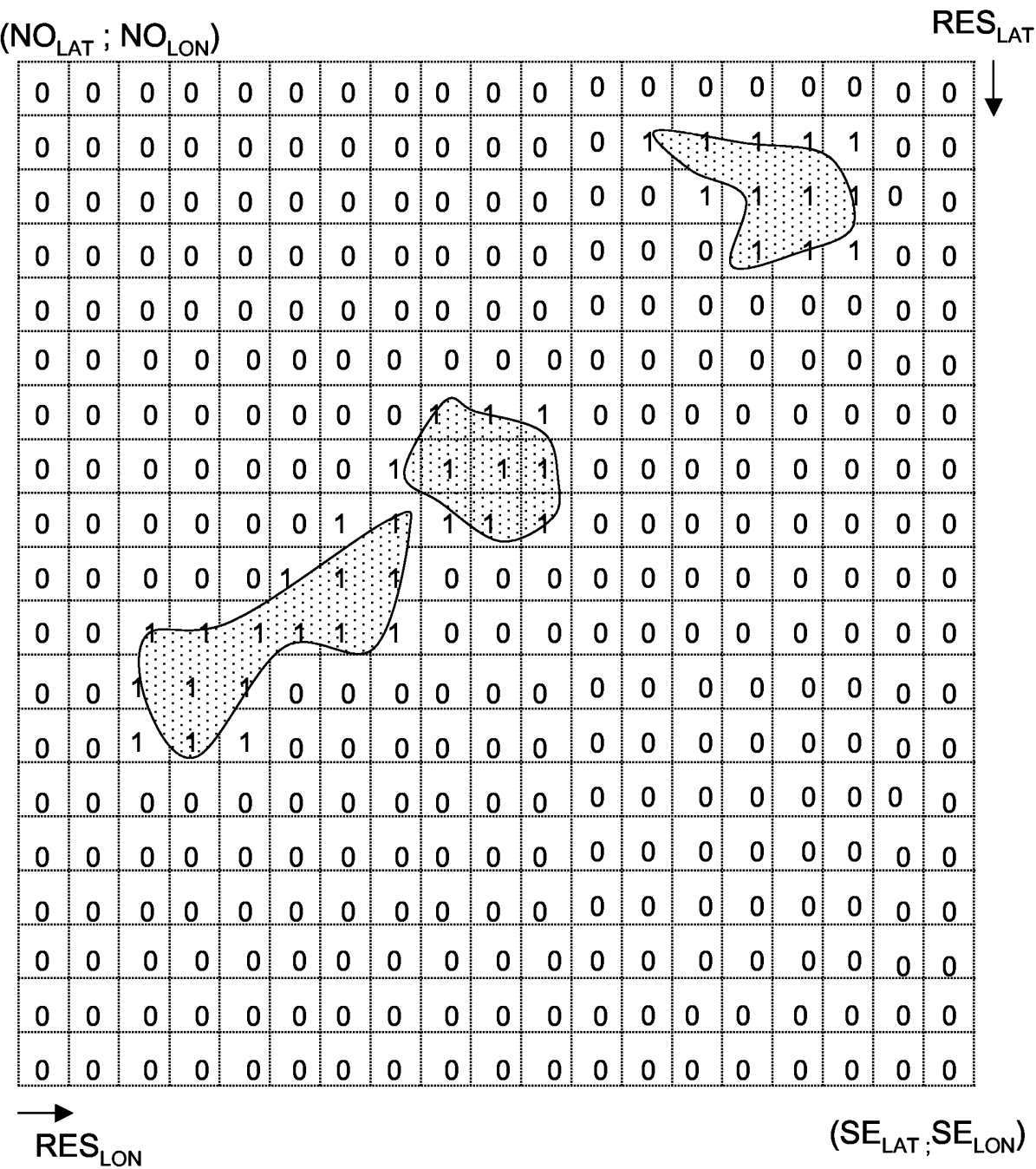


FIG.1

2/12

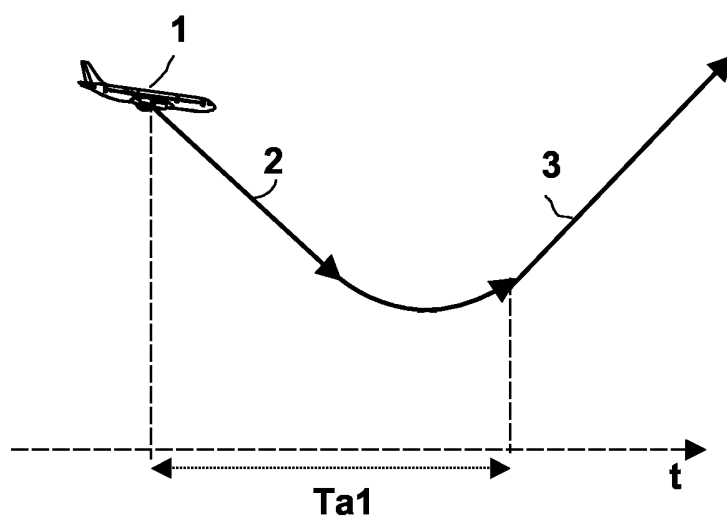


FIG. 2

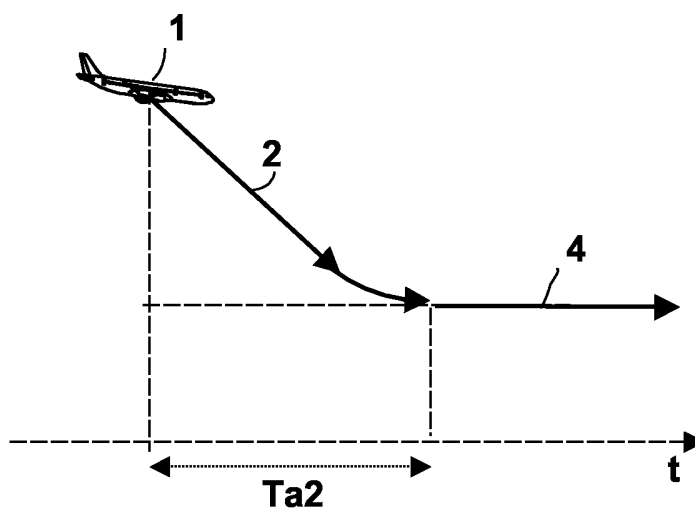


FIG. 6

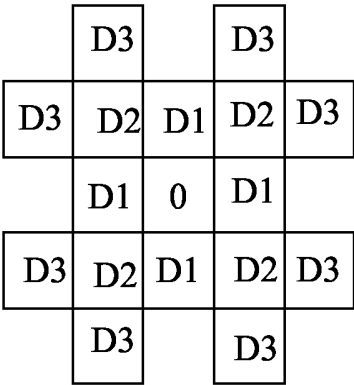


FIG.3

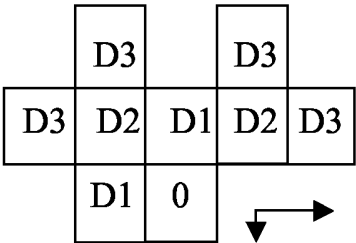


FIG.4a

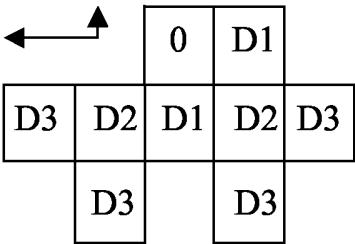


FIG.4b

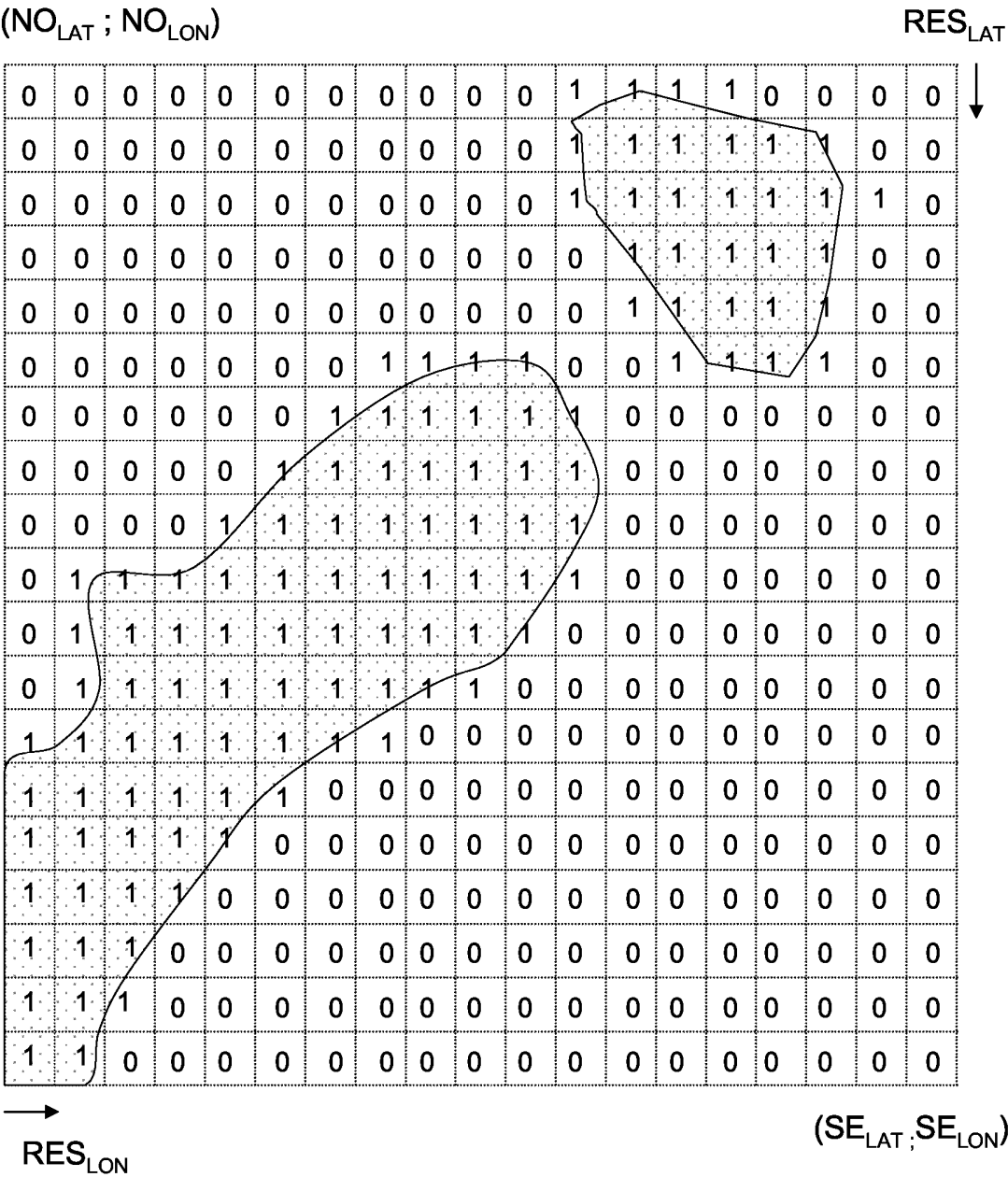


FIG.5

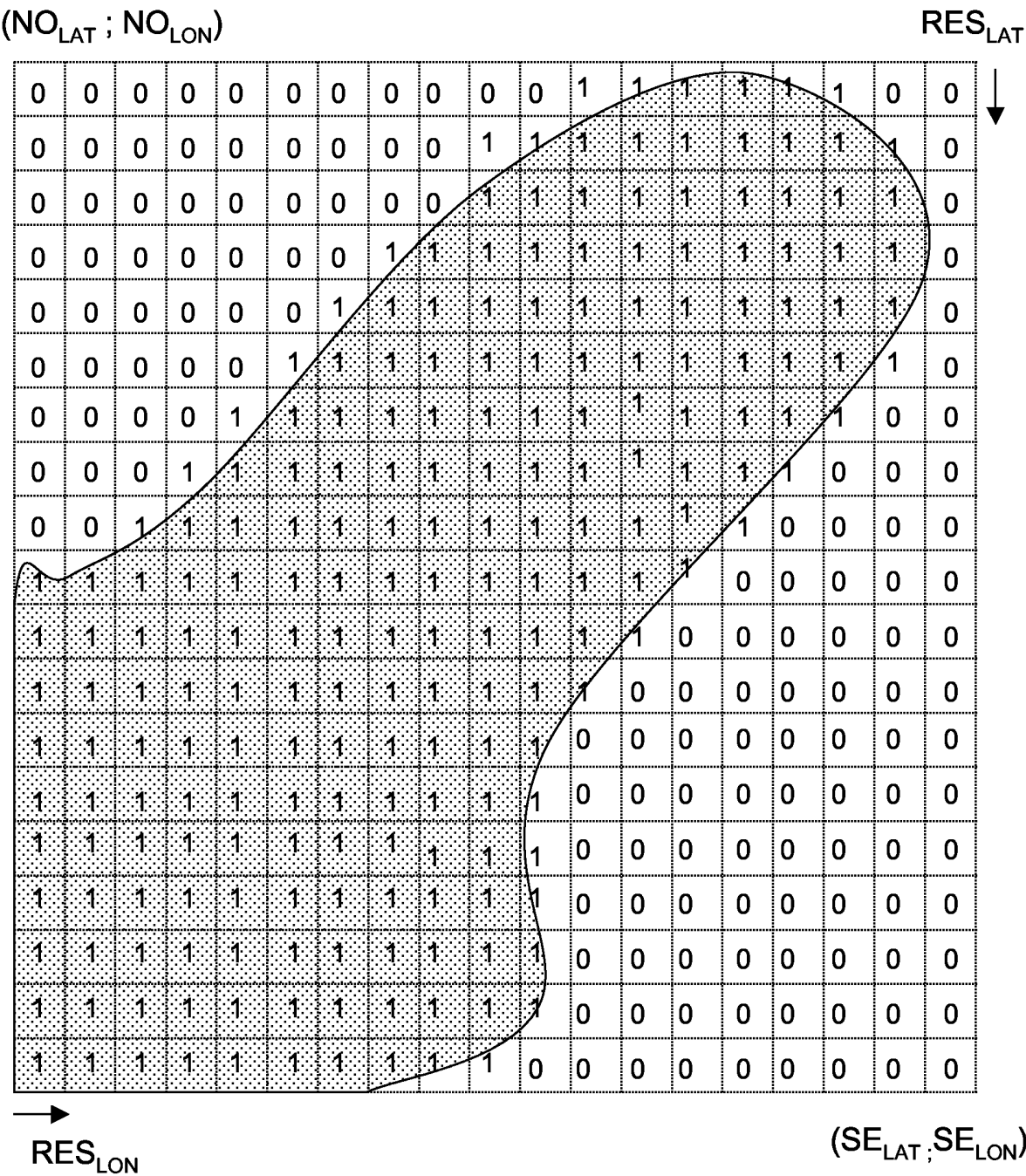
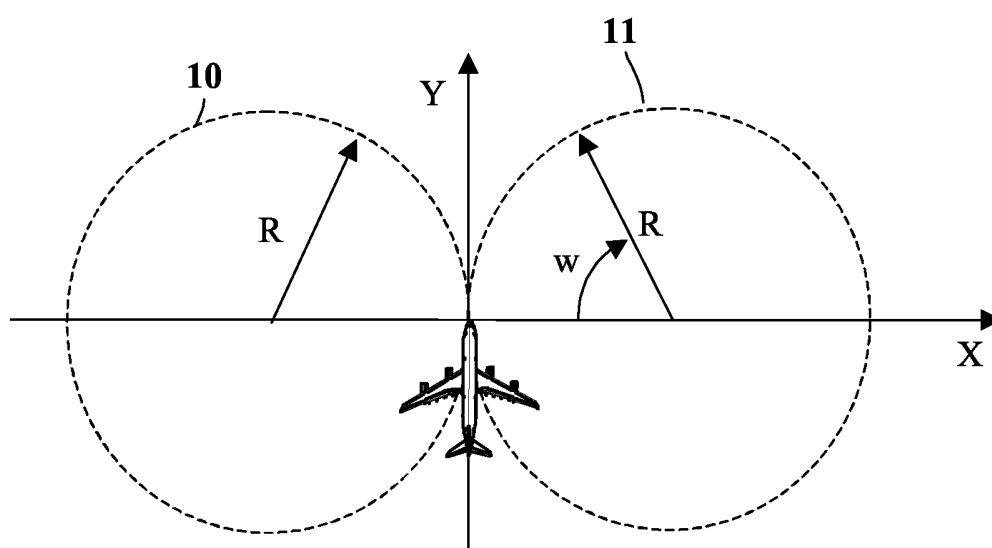
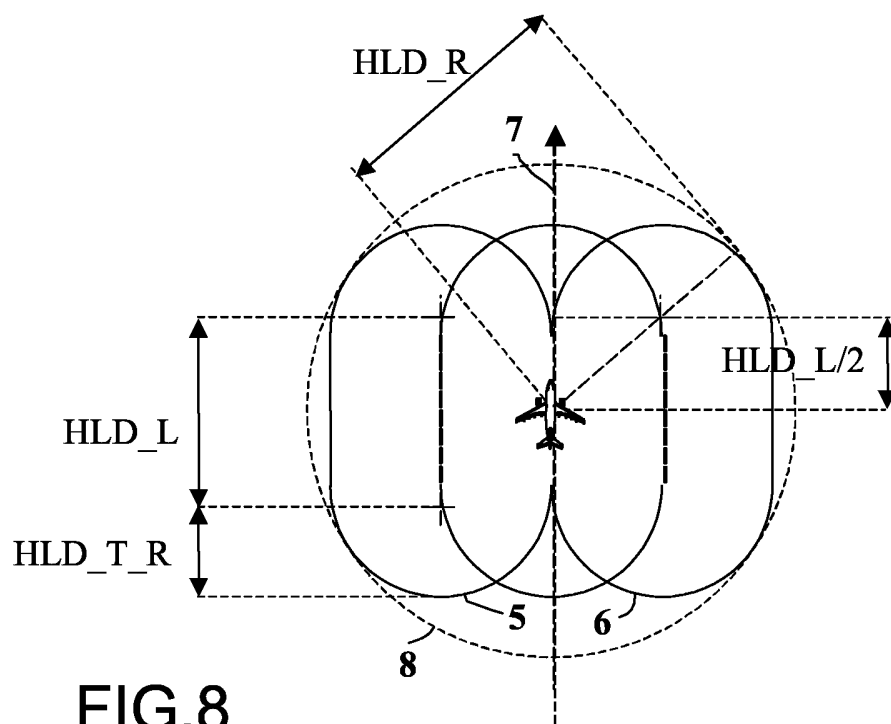


FIG.7

6/12



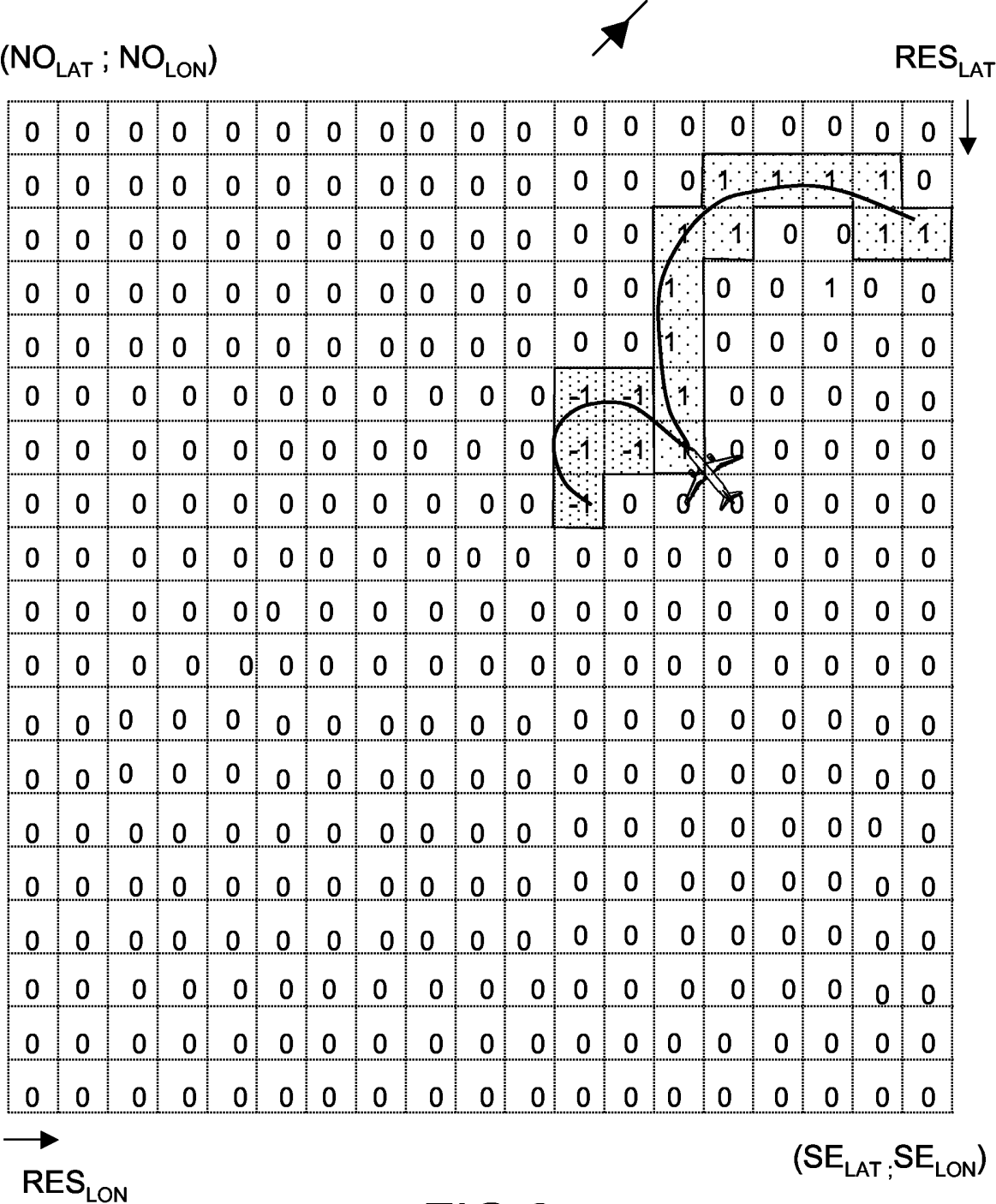


FIG.9

8/12

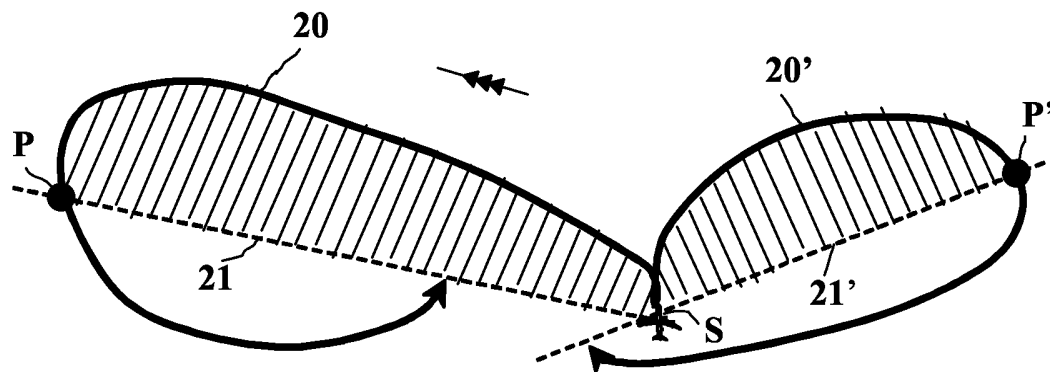


FIG.11

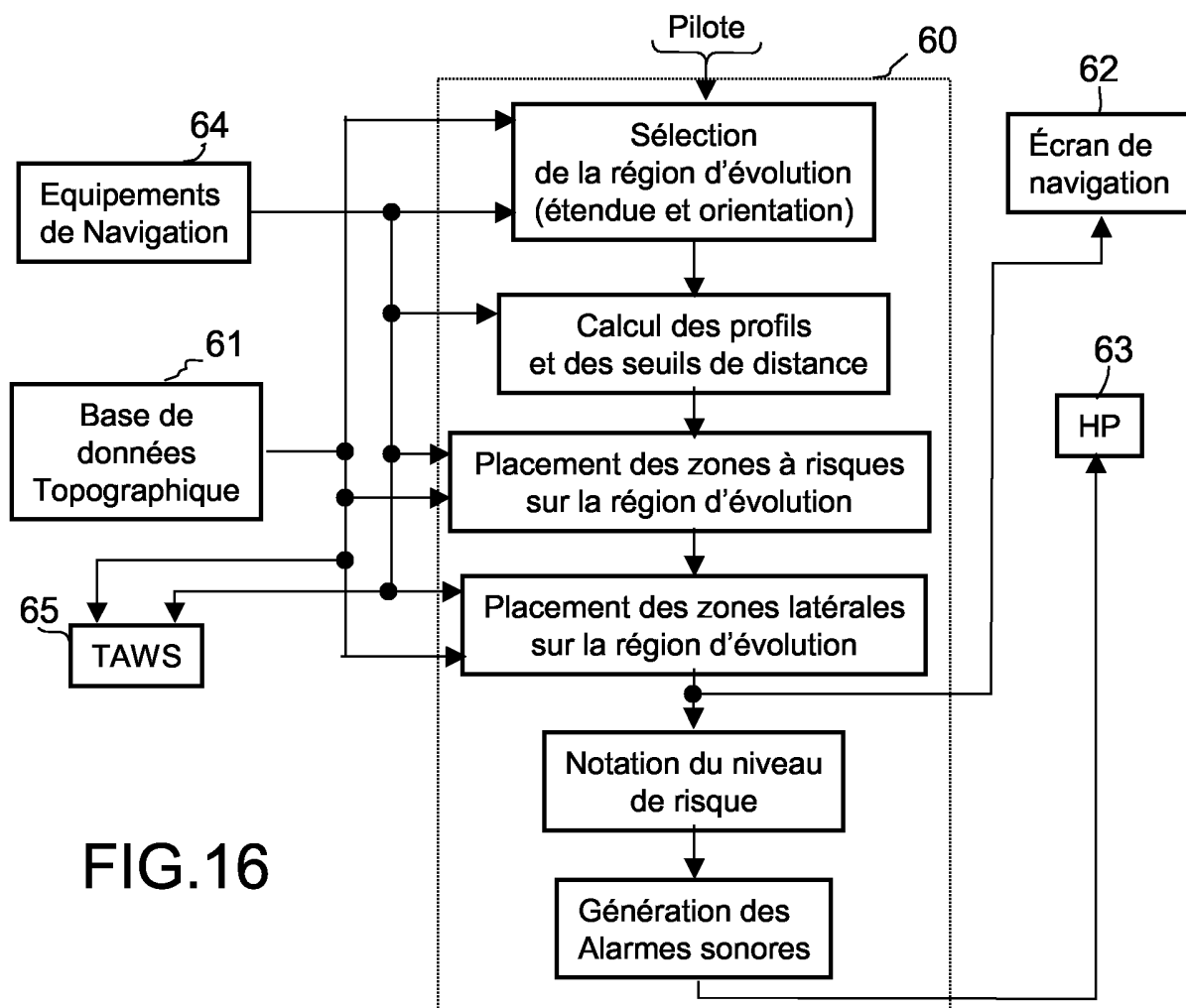


FIG.16

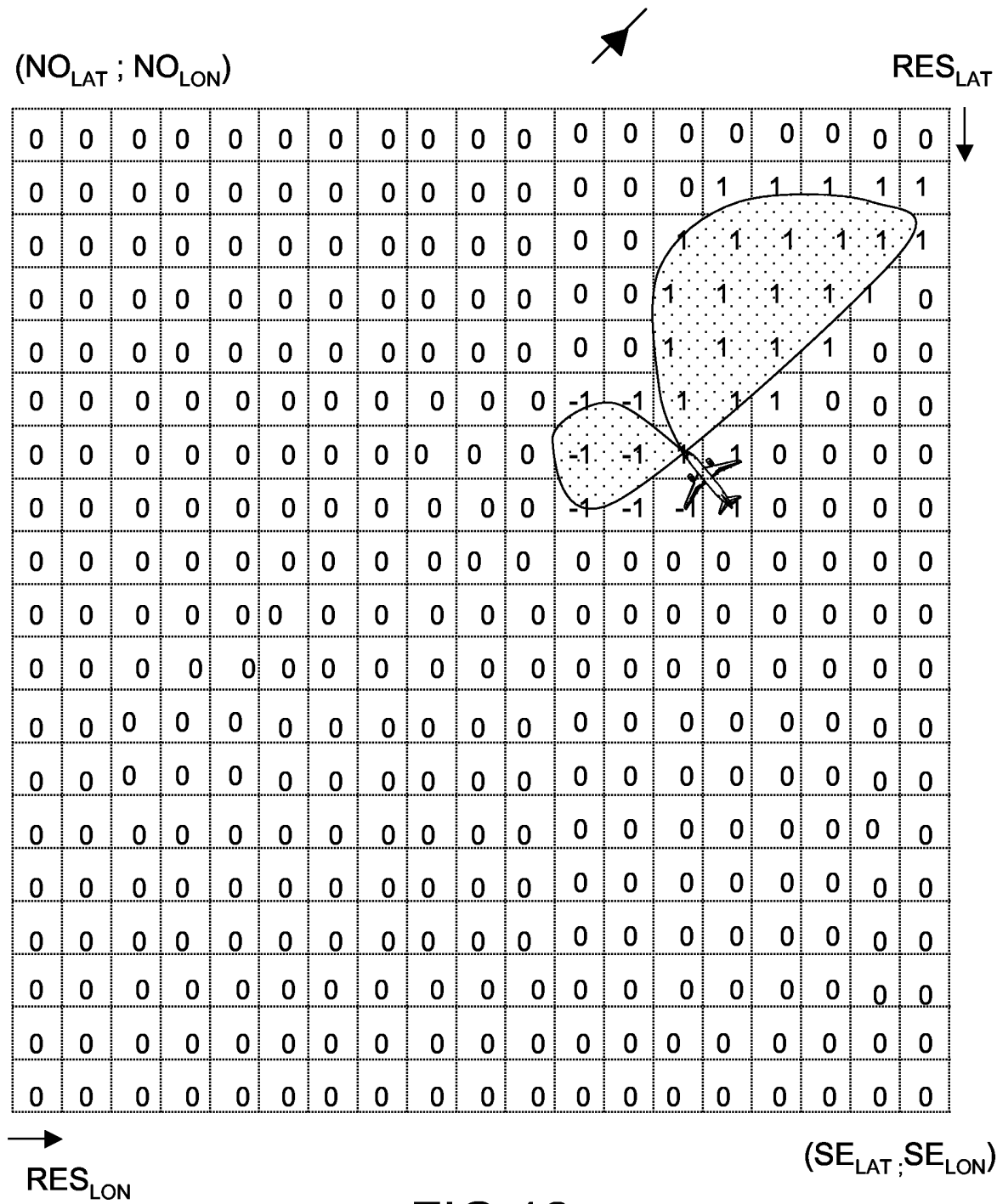


FIG.12

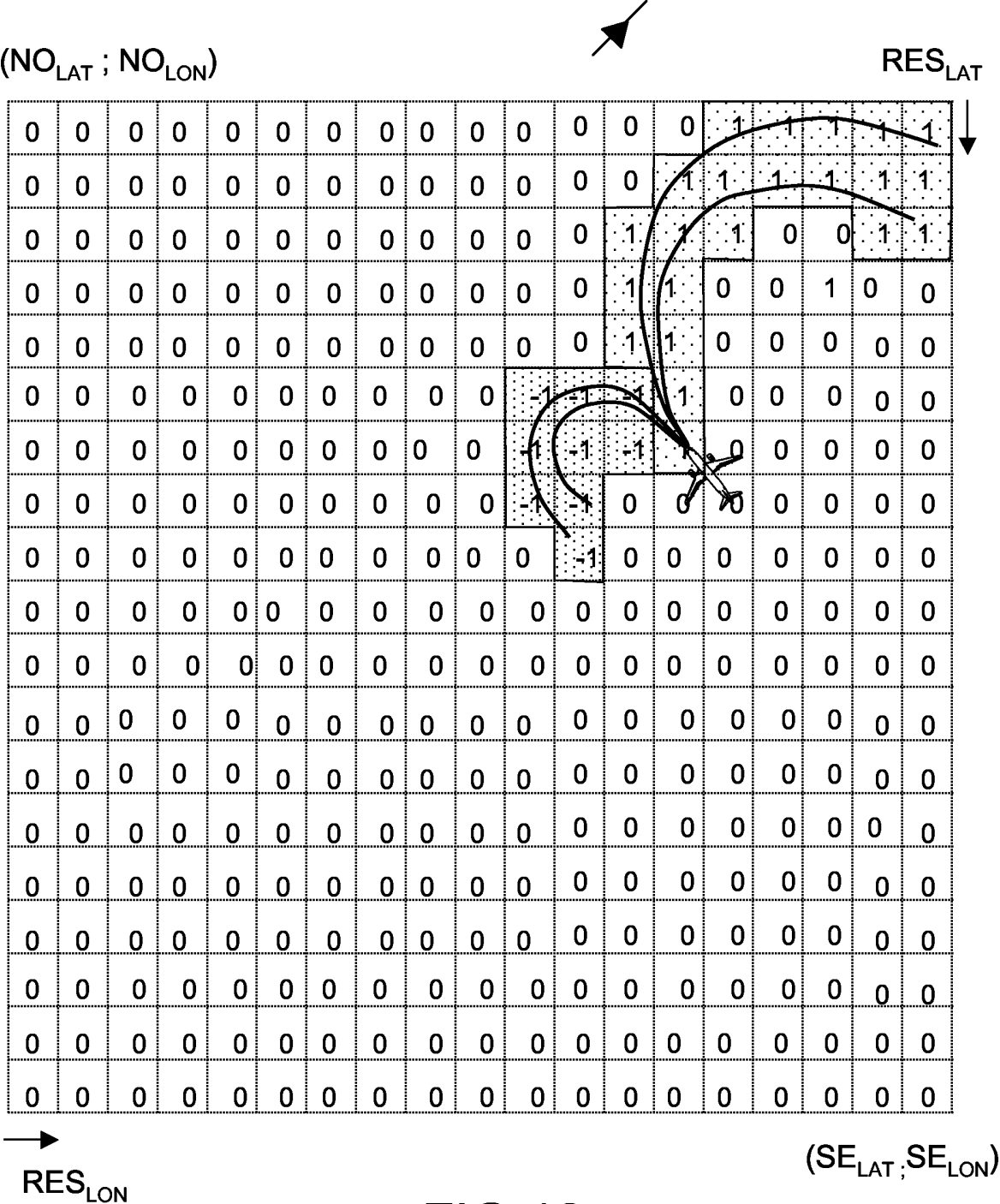


FIG.13

11/12

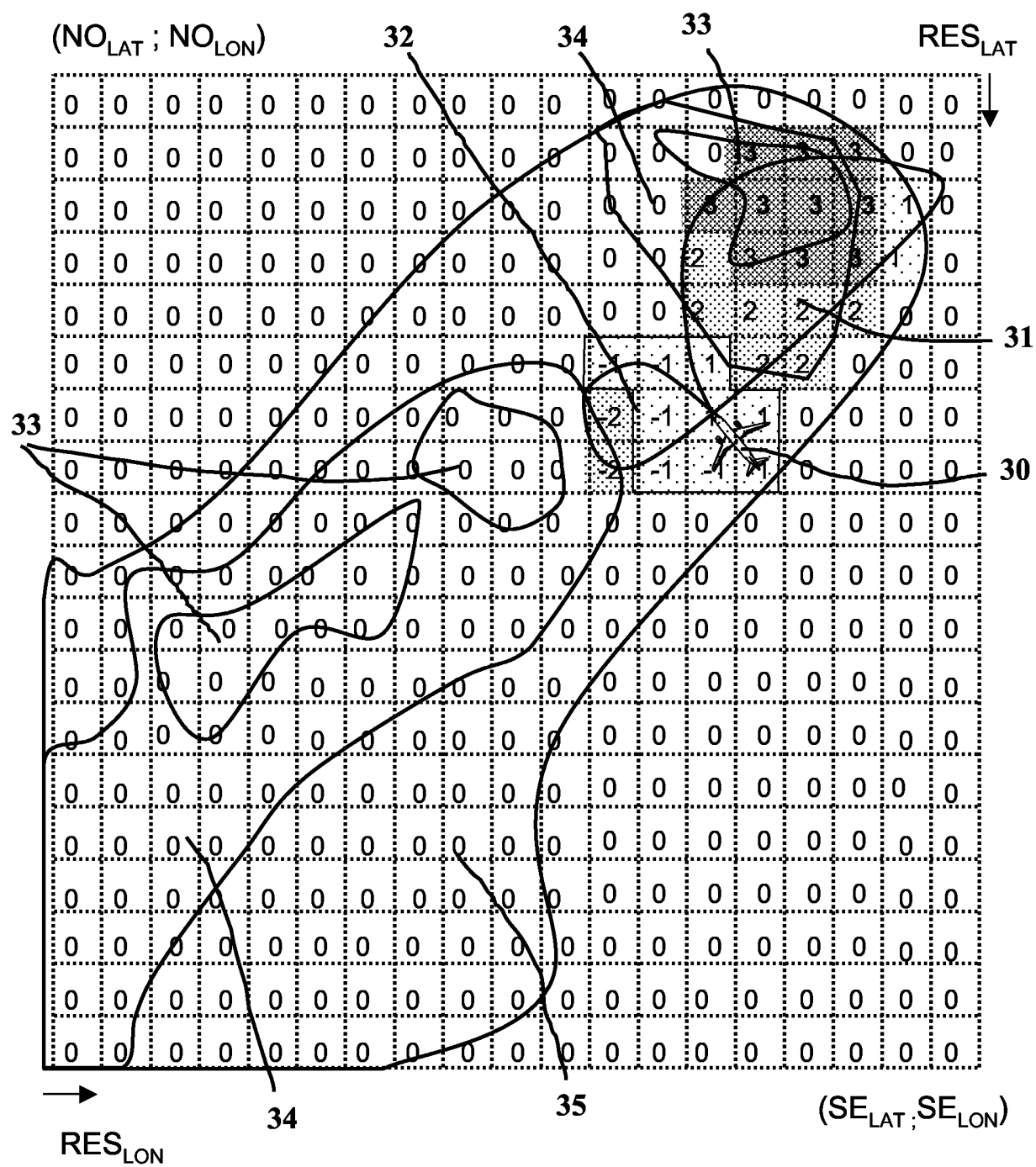


FIG.14

12/12

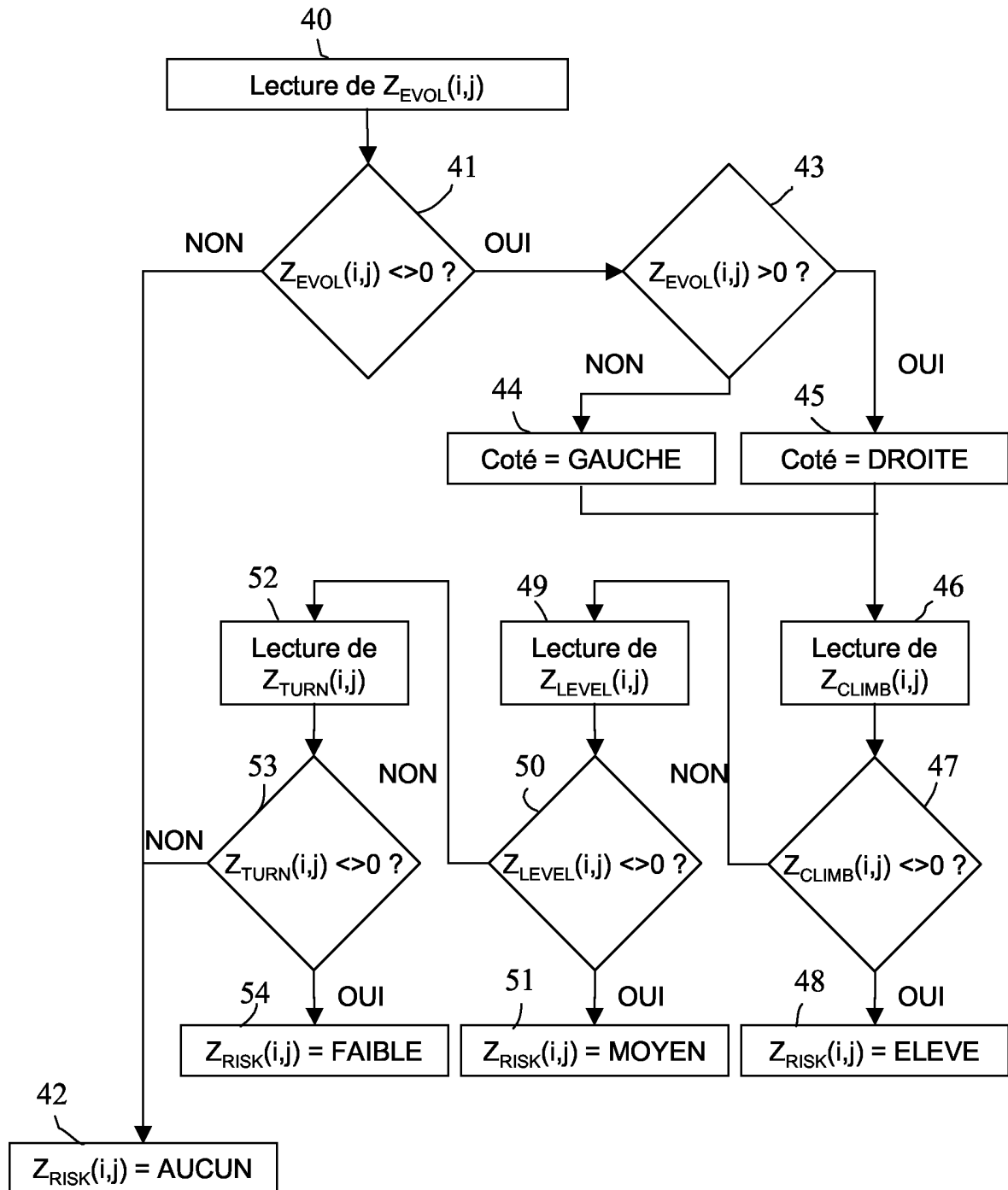


FIG.15

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/EP2005/053655

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01C23/00 G08G5/04 B64D45/08

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01C B64D G08G G01S G05D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EP0-Internal

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category ° | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                                                               | Relevant to claim No. |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| A          | FR 2 842 594 A (THALES)<br>23 January 2004 (2004-01-23)<br>page 2, line 7 - page 2, line 27<br>page 4, line 5 - page 4, line 9<br>page 5, line 12 - page 12, line 8; figures 1-6 | 1-19                  |
| A          | US 5 892 462 A (TRAN ET AL)<br>6 April 1999 (1999-04-06)<br>column 3, line 7 - column 3, line 43;<br>figures 1-15<br>column 4, line 62 - column 13, line 54                      | 1-19                  |
| A          | US 6 480 120 B1 (MEUNIER HUGUES)<br>12 November 2002 (2002-11-12)<br>column 1, line 49 - column 6, line 65;<br>figures 1-10                                                      | 1-19                  |
|            | -----<br>-/-                                                                                                                                                                     |                       |

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

° Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

24 November 2005

Date of mailing of the international search report

05/12/2005

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Fourrichon, P

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/EP2005/053655

| C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT |                                                                                       |                       |
|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Category *                                           | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages    | Relevant to claim No. |
| A                                                    | EP 0 750 238 A (HONEYWELL INC)<br>27 December 1996 (1996-12-27)<br>the whole document | 1,10,14               |
| A                                                    | FR 2 848 662 A (THALES)<br>18 June 2004 (2004-06-18)<br>the whole document            | 1,10,14               |

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No  
PCT/EP2005/053655

| Patent document<br>cited in search report |    | Publication<br>date | Patent family<br>member(s)                                                                                                           | Publication<br>date                                                                                          |
|-------------------------------------------|----|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| FR 2842594                                | A  | 23-01-2004          | EP 1523655 A2<br>WO 2004010079 A2<br>US 2005248470 A1                                                                                | 20-04-2005<br>29-01-2004<br>10-11-2005                                                                       |
| US 5892462                                | A  | 06-04-1999          | DE 69606804 D1<br>DE 69606804 T2<br>EP 0750238 A1                                                                                    | 06-04-2000<br>15-06-2000<br>27-12-1996                                                                       |
| US 6480120                                | B1 | 12-11-2002          | AT 203840 T<br>CA 2202677 A1<br>DE 69705885 D1<br>DE 69705885 T2<br>EP 0802469 A1<br>ES 2160901 T3<br>FR 2747492 A1<br>JP 10035594 A | 15-08-2001<br>15-10-1997<br>06-09-2001<br>10-01-2002<br>22-10-1997<br>16-11-2001<br>17-10-1997<br>10-02-1998 |
| EP 0750238                                | A  | 27-12-1996          | DE 69606804 D1<br>DE 69606804 T2<br>US 5892462 A                                                                                     | 06-04-2000<br>15-06-2000<br>06-04-1999                                                                       |
| FR 2848662                                | A  | 18-06-2004          | CA 2509942 A1<br>WO 2004055477 A1<br>EP 1579173 A1                                                                                   | 01-07-2004<br>01-07-2004<br>28-09-2005                                                                       |

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande Internationale No  
PCT/EP2005/053655

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                              |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE</b><br>G01C23/00      G08G5/04      B64D45/08                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                              |
| Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                              |
| <b>B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE</b><br>Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)<br>G01C B64D G08G G01S G05D                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                              |
| Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                              |
| Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)<br>EP0-Internal                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                              |
| <b>C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                              |
| Catégorie °                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | no. des revendications visées                                                                                                                |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | FR 2 842 594 A (THALES)<br>23 janvier 2004 (2004-01-23)<br>page 2, ligne 7 - page 2, ligne 27<br>page 4, ligne 5 - page 4, ligne 9<br>page 5, ligne 12 - page 12, ligne 8;<br>figures 1-6<br>-----                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 1-19                                                                                                                                         |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | US 5 892 462 A (TRAN ET AL)<br>6 avril 1999 (1999-04-06)<br>colonne 3, ligne 7 - colonne 3, ligne 43;<br>figures 1-15<br>colonne 4, ligne 62 - colonne 13, ligne 54<br>-----                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 1-19                                                                                                                                         |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | US 6 480 120 B1 (MEUNIER HUGUES)<br>12 novembre 2002 (2002-11-12)<br>colonne 1, ligne 49 - colonne 6, ligne 65;<br>figures 1-10<br>-----                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 1-19                                                                                                                                         |
| -----<br>-/--                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                              |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <span><input checked="" type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents</span> <span><input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe</span> </div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                              |
| ° Catégories spéciales de documents cités:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                              |
| "A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent<br>"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date<br>"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)<br>"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens<br>"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée | "T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention<br>"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément<br>"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier<br>"&" document qui fait partie de la même famille de brevets |                                                                                                                                              |
| Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée<br><br><div style="text-align: center; font-weight: bold;">24 novembre 2005</div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale<br><br><div style="text-align: center; font-weight: bold;">05/12/2005</div> |
| Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale<br>Office Européen des Brevets, P.B. 5918 Patentlaan 2<br>NL - 2280 HV Rijswijk<br>Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,<br>Fax: (+31-70) 340-3016                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Fonctionnaire autorisé<br><br><div style="text-align: center; font-weight: bold;">Fourrichon, P</div>                                        |

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande Internationale No

PCT/EP2005/053655

| C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS |                                                                                                   |                               |
|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| Catégorie °                                     | Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents    | no. des revendications visées |
| A                                               | EP 0 750 238 A (HONEYWELL INC)<br>27 décembre 1996 (1996-12-27)<br>le document en entier<br>----- | 1,10,14                       |
| A                                               | FR 2 848 662 A (THALES)<br>18 juin 2004 (2004-06-18)<br>le document en entier<br>-----            | 1,10,14                       |

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande Internationale No

PCT/EP2005/053655

| Document brevet cité<br>au rapport de recherche |    | Date de<br>publication | Membre(s) de la<br>famille de brevet(s) | Date de<br>publication |
|-------------------------------------------------|----|------------------------|-----------------------------------------|------------------------|
| FR 2842594                                      | A  | 23-01-2004             | EP 1523655 A2                           | 20-04-2005             |
|                                                 |    |                        | WO 2004010079 A2                        | 29-01-2004             |
|                                                 |    |                        | US 2005248470 A1                        | 10-11-2005             |
| US 5892462                                      | A  | 06-04-1999             | DE 69606804 D1                          | 06-04-2000             |
|                                                 |    |                        | DE 69606804 T2                          | 15-06-2000             |
|                                                 |    |                        | EP 0750238 A1                           | 27-12-1996             |
| US 6480120                                      | B1 | 12-11-2002             | AT 203840 T                             | 15-08-2001             |
|                                                 |    |                        | CA 2202677 A1                           | 15-10-1997             |
|                                                 |    |                        | DE 69705885 D1                          | 06-09-2001             |
|                                                 |    |                        | DE 69705885 T2                          | 10-01-2002             |
|                                                 |    |                        | EP 0802469 A1                           | 22-10-1997             |
|                                                 |    |                        | ES 2160901 T3                           | 16-11-2001             |
|                                                 |    |                        | FR 2747492 A1                           | 17-10-1997             |
|                                                 |    |                        | JP 10035594 A                           | 10-02-1998             |
| EP 0750238                                      | A  | 27-12-1996             | DE 69606804 D1                          | 06-04-2000             |
|                                                 |    |                        | DE 69606804 T2                          | 15-06-2000             |
|                                                 |    |                        | US 5892462 A                            | 06-04-1999             |
| FR 2848662                                      | A  | 18-06-2004             | CA 2509942 A1                           | 01-07-2004             |
|                                                 |    |                        | WO 2004055477 A1                        | 01-07-2004             |
|                                                 |    |                        | EP 1579173 A1                           | 28-09-2005             |