

①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
—
**INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE**
—
COURBEVOIE
—

①① **N° de publication :** **3 072 948**
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)
②① **N° d'enregistrement national :** **17 60251**
⑤① Int Cl⁸ : **B 64 D 45/04** (2018.01), G 08 G 5/04

①②

BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ **SYSTEME D'AIDE A L'ATERRISSAGE D'UN AERONEF EN PHASE D'APPROCHE D'UNE
PISTE D'ATERRISSAGE.**

②② **Date de dépôt :** 30.10.17.

③③ **Priorité :**

④③ **Date de mise à la disposition du public
de la demande :** 03.05.19 Bulletin 19/18.

④⑤ **Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention :** 15.11.19 Bulletin 19/46.

⑤⑥ **Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :**

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑥⑥ **Références à d'autres documents nationaux
apparentés :**

○ **Demande(s) d'extension :**

⑦① **Demandeur(s) :** AIRBUS OPERATIONS Société par
actions simplifiée — FR.

⑦② **Inventeur(s) :** PINCHON THIBAUT.

⑦③ **Titulaire(s) :** AIRBUS OPERATIONS Société par
actions simplifiée.

⑦④ **Mandataire(s) :** GEVERS & ORES Société
anonyme.

FR 3 072 948 - B1



DOMAINE TECHNIQUE

La présente invention concerne le domaine de l'aéronautique et plus particulièrement l'aide à l'atterrissage d'un aéronef en phase d'approche d'une piste d'atterrissage. L'invention s'inscrit dans le cadre plus général de la
5 prévention des accidents de collision avec le sol en vol piloté.

ÉTAT DE LA TECHNIQUE

Ce type d'accident est connu dans la littérature technique sous l'acronyme CFIT (« Controlled Flight Into Terrain » en anglais).

10 Alors qu'ils constituaient dans le passé une proportion importante des catastrophes aériennes, les accidents de type CFIT sont désormais évités pour la plupart, grâce à des manœuvres d'évitement du terrain effectuées par les équipages sous l'incitation d'alertes et alarmes provenant de systèmes embarqués de signalisation automatique des risques de collision avec le
15 terrain, connus sous le vocable de système TAWS (« Terrain Awareness and Warning Systems » en anglais) dont font partie le système EGPWS (« Enhanced Ground Proximity Warning System » en anglais) et le système GCAS (« Ground Collision Avoidance System » en anglais).

Généralement, ces systèmes comparent la position courante de
20 l'aéronef à une base de données embarquée, modélisant un volume de protection qui est fonction du terrain survolé. L'équipage est averti en cas de risque de collision avec le sol afin que les pilotes puissent modifier la trajectoire de l'aéronef.

Lors d'une approche avant un atterrissage, l'aéronef se trouve à
25 proximité du terrain survolé. Ainsi, afin d'éviter toute alerte non compatible avec une telle phase d'approche, les systèmes TAWS sont désensibilisés dès le début de l'approche par un durcissement des conditions d'activation des

alertes, puis sont totalement inhibés durant l'approche finale ; c'est-à-dire plus aucune alerte n'est alors émise.

Des améliorations des systèmes TAWS ont été proposés pour prolonger la protection au plus près de la piste d'atterrissage.

5 Par exemple, le document FR 3044298 décrit un procédé d'aide à l'atterrissage. Ce procédé propose la combinaison de deux conditions complémentaires afin d'éviter une chute anormale d'un aéronef dans le cas d'un accident de type CFIT. La première condition permet d'évaluer le risque de collision avec le sol vis-à-vis d'une capacité de l'aéronef à réaliser une manœuvre d'évitement sans risque par une remise des gaz. La deuxième
10 condition permet d'évaluer le risque de collision avec le sol vis-à-vis d'une absence de convergence de la trajectoire de l'aéronef avec le seuil de piste. La combinaison simultanée des deux conditions permet à la fois de réduire des alertes intempestives en phase d'approche et de poursuivre la surveillance de l'aéronef pendant toute la phase d'approche, y compris
15 l'approche finale jusqu'au seuil de piste.

Toutefois, ce procédé n'est pas complètement satisfaisant. En effet, il autorise notamment dans certaines situations l'émission d'alertes intempestives qui amènent le pilote à effectuer des manœuvres de remise des gaz qui ne sont pas nécessaires.
20

EXPOSÉ DE L'INVENTION

La présente invention a pour objet de pallier ces inconvénients en proposant un procédé et un système d'aide à l'atterrissage permettant de
25 réduire l'émission d'alertes intempestives.

À cet effet, l'invention concerne un procédé d'aide à l'atterrissage d'un aéronef en phase d'approche d'une piste d'atterrissage.

Le procédé comprend les étapes suivantes :

– une étape de calcul, mise en œuvre par un module de calcul, consistant à calculer par extrapolation une trajectoire de l'aéronef à partir d'une position courante de l'aéronef,

– une première étape de détermination, mise en œuvre par un premier module de détermination, consistant à déterminer si la trajectoire extrapolée de l'aéronef coupe le sol avant un seuil de la piste d'atterrissage.

Selon l'invention, le procédé comprend les étapes suivantes :

– une étape de mesure, mise en œuvre par un module de mesure, consistant à mesurer une hauteur courante de l'aéronef au-dessus d'un terrain survolé,

– une deuxième étape de détermination, mise en œuvre par un deuxième module de détermination, consistant à déterminer si la hauteur courante correspond à une hauteur considérée comme une hauteur à risque,

– une étape d'alerte, mise en œuvre par un module d'alerte (8), consistant à générer une alerte destinée à un équipage de l'aéronef uniquement si les deux conditions suivantes sont simultanément remplies :

- les deux déterminations des deux étapes de détermination sont positives, et
- l'aéronef se situe à une distance par rapport au seuil de la piste d'atterrissage inférieure à une distance seuil prédéterminée.

Ainsi, grâce à l'invention, le nombre d'alertes intempestives, pouvant causer notamment des manœuvres de remise des gaz qui ne sont pas nécessaires, est diminué significativement.

En outre, la trajectoire extrapolée calculée dans l'étape de calcul est extrapolée à partir de la position courante, de la vitesse courante et de l'accélération courante de l'aéronef.

De plus, la première étape de détermination consiste à déterminer :

– si la trajectoire extrapolée de l'aéronef passe sous une altitude prédéterminée à la verticale du seuil de la piste d'atterrissage, ou

– si la trajectoire extrapolée de l'aéronef passe, à l'altitude du seuil de la piste d'atterrissage, avant une position auxiliaire en amont de celle du seuil de piste selon un axe longitudinal de la piste.

5 Selon un mode de réalisation, l'altitude prédéterminée correspond à l'altitude du seuil de piste, la position auxiliaire correspondant à la position du seuil de piste selon l'axe longitudinal.

Selon une variante, l'altitude prédéterminée correspond à l'altitude du seuil de piste à une marge près, la position auxiliaire correspondant à la position du seuil de piste selon l'axe longitudinal à une marge près.

10 Par ailleurs, la deuxième étape de détermination consiste à comparer la hauteur courante de l'aéronef avec une hauteur seuil prédéterminée, la hauteur courante étant considérée comme hauteur à risque si ladite hauteur courante est inférieure à la hauteur seuil prédéterminée.

15 Avantageusement, la hauteur seuil prédéterminée est fonction de la distance horizontale entre l'aéronef et la piste d'atterrissage.

Par exemple, la hauteur seuil est égale à la différence entre, d'une part, une première hauteur correspondant à une hauteur nominale comprise dans une trajectoire d'approche nominale à une distance courante de l'aéronef par rapport au seuil de la piste d'atterrissage et, d'autre part, une
20 deuxième hauteur correspondant à une hauteur comprise dans une surface prédéterminée à la verticale de la position courante de l'aéronef.

En outre, la surface prédéterminée correspond à une surface établissant des limites de hauteur autour de la piste d'atterrissage.

25 Selon une variante, la surface prédéterminée correspond à une surface établissant des limites de hauteur autour de la piste d'atterrissage à une marge près.

De façon non limitative, la distance seuil prédéterminée est sensiblement égale à 3 NM.

L'invention concerne également un système d'aide à l'atterrissage d'un aéronef en phase d'approche d'une piste d'atterrissage.

Le système comprend :

- 5 – un module de calcul configuré pour calculer par extrapolation une trajectoire de l'aéronef à partir d'une position courante de l'aéronef,
- un premier module de détermination configuré pour déterminer si la trajectoire extrapolée de l'aéronef coupe le sol avant un seuil de la piste d'atterrissage.

Selon l'invention, le système comprend :

- 10 – un module de mesure configuré pour mesurer une hauteur courante de l'aéronef au-dessus d'un terrain survolé,
- un deuxième module de détermination configuré pour déterminer si la hauteur courante correspond à une hauteur considérée comme une hauteur à risque,
- 15 – un module d'alerte configuré pour générer une alerte destinée à un équipage de l'aéronef uniquement si les deux conditions suivantes sont remplies :
 - les deux déterminations réalisées par les deux modules de détermination sont positives, et
 - 20 ○ l'aéronef se situe à une distance par rapport au seuil de la piste d'atterrissage inférieure à une distance seuil prédéterminée.

Selon une particularité, le premier module de détermination est configuré pour déterminer :

- 25 – si la trajectoire extrapolée de l'aéronef passe sous une altitude prédéterminée à la verticale du seuil de la piste d'atterrissage, ou
- si la trajectoire extrapolée de l'aéronef passe, à l'altitude du seuil de la piste d'atterrissage, avant une position auxiliaire en amont de celle du seuil de piste selon un axe longitudinal de la piste.

Selon une autre particularité, le deuxième module de détermination est configuré pour comparer la hauteur courante de l'aéronef avec une hauteur seuil, la hauteur courante étant considérée comme risquée si ladite hauteur courante est inférieure à une hauteur seuil prédéterminée.

- 5 L'invention concerne en outre un aéronef comportant un système d'aide à l'atterrissage d'un aéronef en phase d'approche d'une piste d'atterrissage, tel que celui spécifié ci-dessus.

BRÈVE DESCRIPTION DES FIGURES

- 10 L'invention, avec ses caractéristiques et avantages, ressortira plus clairement à la lecture de la description faite en référence aux dessins annexés dans lesquels :
- la figure 1 représente un schéma synoptique du système d'aide à l'atterrissage,
 - 15 – la figure 2 représente un schéma synoptique du procédé d'aide à l'atterrissage,
 - la figure 3 représente une trajectoire extrapolée pour l'évaluation d'un premier risque de collision avec le sol lors d'une phase d'approche d'un aéronef,
 - 20 – la figure 4 représente une trajectoire d'approche nominale et une surface établissant des limites de hauteur autour de la piste d'atterrissage pour l'évaluation d'un deuxième risque de collision avec le sol lors d'une phase d'approche d'un aéronef.

25 DESCRIPTION DÉTAILLÉE

La figure 1 représente un mode de réalisation d'un système d'aide à l'atterrissage 1 d'un aéronef AC en phase d'approche d'une piste d'atterrissage T d'un aéroport. Dans la suite de la description, le système

d'aide à l'atterrissage 1 d'un aéronef AC en phase d'approche d'une piste d'atterrissage T est appelé système d'aide à l'atterrissage 1.

Le système d'aide à l'atterrissage 1, embarqué sur l'aéronef AC, comprend des modules 2, 4, 5, 7, 8 permettant d'évaluer deux conditions qui doivent être simultanément remplies pour émettre une alarme. La première condition est basée sur l'évaluation de deux risques de collision avec le sol. Si les deux risques sont tous les deux avérés, la première condition est remplie. Une deuxième condition est basée sur l'évaluation de la distance 11 de l'aéronef AC par rapport au seuil S de la piste d'atterrissage T. Si la distance 11 par rapport au seuil S de la piste d'atterrissage T est inférieure à une distance seuil, la deuxième condition est remplie.

Le système d'aide à l'atterrissage 1 comprend un module de calcul COMP (COMP pour « computational module » en anglais) 2 configuré pour calculer par extrapolation une trajectoire 3 de l'aéronef AC à partir d'une position courante P de l'aéronef AC et un module de détermination DET1 (DET pour « determination module » en anglais) 4 configuré pour déterminer si la trajectoire extrapolée 3 de l'aéronef AC coupe le sol avant un seuil S de la piste d'atterrissage T. (Figure 3)

Le calcul par extrapolation de la trajectoire 3 de l'aéronef AC par le module de calcul 2 peut correspondre à la détermination d'une projection à court terme (par exemple sur 10 secondes à 20 secondes) de la trajectoire courante de l'aéronef AC. Puis, le module de détermination 4 détermine si cette projection de trajectoire coupe le sol avant le seuil S de la piste d'atterrissage T.

Cette trajectoire 3 est dite à court terme car elle suppose qu'aucune action de pilotage ne sera engagée, ce qui n'est pas valable à plus long terme surtout lors d'une phase d'approche où des ajustements de pilotage sont généralement effectués. Il s'agit donc d'une trajectoire « normale » de

l'aéronef AC compte tenu de sa configuration courante, sans manœuvre d'évitement.

5 Tout estimateur ou prédicteur de trajectoire répondant à ce besoin peut être utilisé. De préférence, celui-ci peut être mis en œuvre sous forme d'instructions de code dans un calculateur embarqué.

10 L'estimation de la trajectoire 3 à court terme s'appuie préférentiellement sur les position P, vitesse et accélération courantes de l'aéronef AC, disponibles via des dispositifs de géopositionnement tel qu'un dispositif GPS (pour « Global Positioning System » en anglais) et/ou une centrale inertielle, tel qu'un dispositif IRS (pour « Inertial Reference System » en anglais) et/ou un dispositif barométrique. Ces paramètres délivrés par ces dispositifs peuvent être utilisés bruts ou filtrés (sur plusieurs instants) afin de réduire l'instabilité du résultat due au bruit de mesure (notamment pour l'accélération).

15 En fonction du temps t, la position courante $P(t) = (X(t), Y(t), Z(t))$, la vitesse $V(t)$ et l'accélération $A(t)$ de l'aéronef peuvent être déterminées en temps réel à l'aide de capteurs avioniques embarqués ou d'instruments de vol.

20 La piste d'atterrissage T comporte un seuil S de piste $S (X_S, Y_S, Z_S)$ et est orientée selon un axe longitudinal A exprimé généralement avec un angle par rapport au nord géographique.

25 Pour simplifier les explications, il est fait référence, dans la suite, au déplacement de l'aéronef AC dans le plan vertical passant par l'axe longitudinal A de la piste P. En effet, la phase d'approche, au moins finale, de l'aéronef AC est traditionnellement effectuée dans ce plan, car l'aéronef AC est aligné avec l'axe longitudinal A de la piste P.

On pourra donc définir le seuil S de piste P comme origine du repère Piste considéré. Ainsi, $X(t)$ ($X > 0$ avant le seuil ; $X < 0$ après le seuil, dans le sens E de déplacement de l'aéronef AC) est la position horizontale de

l'aéronef AC (ou distance au sol de l'aéronef AC avec le seuil S de piste T) et $Z(t)$ est l'altitude ou hauteur de l'aéronef AC en fonction du temps t . Dans ce repère, la phase d'approche de l'aéronef AC se passe dans le quadrant $\{X>0$ et $Z>0\}$.

5 Des considérations tridimensionnelles ne modifient pas les enseignements de l'invention, et nécessitent uniquement des calculs plus complexes de trajectoires, à la portée de l'homme du métier.

L'estimation de la trajectoire 3 à court terme vise à évaluer par exemple la hauteur de l'aéronef au passage (donc à la verticale) du seuil S de piste T, c'est-à-dire évaluer $Z(t)$ lorsque $X(t)=0$.

La trajectoire 3 à court terme d'un aéronef AC peut être extrapolée à l'aide d'un développement limité. L'ordre du développement limité a un impact sur la précision et la stabilité de la prévision. Dans un mode de réalisation, un développement limité d'ordre 2 est utilisé comme suit, sachant que l'instant courant est t_0 :

$$Z(t) = z(t_0) + t \times V_z(t_0) + \frac{t^2}{2} \times A_z(t_0)$$

où $V_z(t_0)$ et $A_z(t_0)$ sont les composantes verticales de la vitesse (négative en cas de descente) et de l'accélération (généralement positive car décélération selon l'axe décroissant des altitudes Z) de l'aéronef AC à l'instant t_0 .

20 De même, $X(t) = X(t_0) + t \times V_x(t_0) + \frac{t^2}{2} \times A_x(t_0)$.

Un tel développement limité présente l'avantage d'être simple, et donc facilement utilisé par des calculateurs embarqués.

Le module de détermination 4 permet d'évaluer un premier risque de collision avec le sol en déterminant si la trajectoire extrapolée 3 de l'aéronef AC coupe le sol avant le seuil S de la piste d'atterrissage T.

La détermination effectuée par le module de détermination 4 est positive si la trajectoire extrapolée 3 de l'aéronef AC coupe le sol avant le seuil S de la piste d'atterrissage T.

Cette détermination peut être réalisée :

5 - soit en déterminant si la trajectoire extrapolée 3 de l'aéronef AC passe sous une altitude prédéterminée Z_{risque} à la verticale du seuil S de la piste d'atterrissage T, c'est-à-dire, si à un instant t_{seuil} où l'aéronef AC passe à la verticale du seuil S $X(t_{\text{seuil}}) = 0$, on a $Z(t_{\text{seuil}}) < Z_{\text{risque}}$;

10 - soit en déterminant si la trajectoire extrapolée 3 de l'aéronef AC passe, à l'altitude ($Z = 0$) du seuil S de la piste d'atterrissage T, avant une position X_{risque} auxiliaire amont de celle du seuil de piste X_S du seuil de piste selon un axe longitudinal A de la piste d'atterrissage T, c'est-à-dire si à un instant t_{seuil} où l'aéronef AC passe à l'altitude du seuil $Z(t_{\text{seuil}}) = 0$, on a $X(t_{\text{seuil}}) > X_{\text{risque}}$. Notamment, l'altitude prédéterminée ou la position auxiliaire
15 correspond à l'altitude du seuil S de piste T (c'est-à-dire $Z_{\text{risque}} = 0$) ou la position du seuil S de piste T selon l'axe longitudinal A (c'est-à-dire $X_{\text{risque}} = 0$), respectivement. En variante, des marges (positives et/ou négatives) peuvent être prises pour régler la sensibilité du système. Ces marges sont représentatives d'une hauteur de sécurité de l'aéronef AC au-dessus du seuil
20 de piste.

Ce premier risque représente le risque que l'aéronef AC touche le sol avant le seuil S de piste T.

En reprenant l'exemple du développement limité d'ordre 2 ci-dessus :

$$Z(t) = z(t_0) + t \times V_Z(t_0) + \frac{t^2}{2} \times A_Z(t_0),$$

25 et $X(t) = X(t_0) + t \times V_X(t_0) + \frac{t^2}{2} \times A_X(t_0),$

on suppose que l'accélération horizontale est négligeable et on note t_{seuil} l'instant où l'aéronef franchit le seuil S de piste T, $X(t_{\text{seuil}}) = 0$.

On a donc $t_{\text{seuil}} = V_X(t_0)/X(t_0)$.

$$\text{Ainsi, } Z(t_{\text{seuil}}) = Z(t_0) + \frac{V_X(t_0)}{X(t_0) \times V_Z(t_0)} + \frac{1}{2} \left(\frac{V_X(t_0)}{X(t_0)} \right)^2 \times A_Z(t_0).$$

La valeur $Z(t_{\text{seuil}})$ peut donc être calculée par le module de détermination 4.

5 Le système d'aide à l'atterrissage 1 comprend en outre un module de mesure MEAS (MEAS pour « measuring module » en anglais) 5 configuré pour mesurer une hauteur courante H de l'aéronef AC au-dessus d'un terrain survolé 6 et un module de détermination DET2 7 configuré pour déterminer si la hauteur courante H correspond à une hauteur considérée comme une
10 hauteur à risque.

Le module de mesure 5 peut comprendre un radioaltimètre embarqué sur l'aéronef AC pour mesurer la hauteur courante H de l'aéronef AC au-dessus du sol 6.

15 Le module de détermination 7 permet d'évaluer un deuxième risque de collision avec le sol en déterminant si la hauteur courante H de l'aéronef AC est une hauteur à risque.

La détermination effectuée par le module de détermination 7 est positive si la hauteur courante H de l'aéronef AC correspond à une hauteur considérée comme une hauteur à risque.

20 Ainsi, le module de détermination 7 peut déterminer si la hauteur courante H de l'aéronef AC est une hauteur à risque en comparant ladite hauteur courante H à une hauteur seuil prédéterminée.

La hauteur courante H est considérée comme hauteur à risque si ladite hauteur courante H est inférieure à la hauteur seuil prédéterminée.

25 Préférentiellement, la hauteur seuil prédéterminée est fonction de la distance horizontale entre l'aéronef AC et la piste d'atterrissage T.

Selon un mode de réalisation, la hauteur seuil est égale à la différence entre, d'une part, une première hauteur correspondant à une hauteur nominale comprise dans une trajectoire d'approche nominale 9 à une distance courante 11 de l'aéronef AC par rapport au seuil S de la piste d'atterrissage T et, d'autre part, une deuxième hauteur correspondant à une hauteur comprise dans une surface prédéterminée 12 à la verticale de la position courante P de l'aéronef AC.

La trajectoire d'approche nominale 9 correspond, par exemple, à une trajectoire présentant une pente à 5% ou un angle de 3 degrés par rapport à l'axe longitudinale A de la piste d'atterrissage T et prévoyant un touché 13 de piste d'atterrissage T à 300 mètres après le seuil S de piste T.

La surface prédéterminée 12 peut correspondre à une surface établissant des limites de hauteur autour de la piste d'atterrissage T. Par exemple, cette surface 12 correspond à la surface de limitation d'obstacles ou surface OLS (pour « Obstacle Limitation Surface » en anglais) de la section finale. Une surface OLS définit la limite jusqu'à laquelle des objets (obstacles et terrain) peuvent se projeter dans l'espace aérien. La surface OLS est définie par l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI) (« International Civil Aviation Organization » ou « ICAO » en anglais) pour des pistes d'atterrissage de catégories données. Par exemple, pour des pistes de catégories 3 et 4, les trajectoires basées sur ces surfaces OLS présentent des pentes de 2%. En variante, des marges (positives et/ou négatives) peuvent être prises par rapport à la surface 12 établissant des limites de hauteur autour de la piste d'atterrissage T.

Une fois que les deux modules de détermination 4 et 7 ont évalué les risques, une alerte peut être émise ou non en fonction de l'évaluation desdits risques.

Le système d'aide à l'atterrissage 1 comprend donc également un module d'alerte ALERT (ALERT pour « alert module » en anglais) 8 configuré

pour générer une alerte destinée à un équipage de l'aéronef AC uniquement si deux conditions sont remplies.

5 Une première condition consiste à savoir si les deux déterminations réalisées par les deux modules de détermination 4 et 7 sont positives, c'est-à-dire si les deux risques sont avérés.

La deuxième condition consiste à savoir si l'aéronef AC se situe à une distance 11 par rapport au seuil S de la piste d'atterrissage T inférieure à une distance seuil prédéterminée.

10 De façon non limitative, la distance seuil prédéterminée est sensiblement égale à 3 NM (5556 m environ).

Le module d'alerte 8 permet ainsi de générer une alerte destinée à l'équipage uniquement si les deux risques sont avérés et si l'aéronef AC se situe à une distance 11 par rapport au seuil S de la piste d'atterrissage T inférieure à la distance seuil prédéterminée.

15 Cette génération peut consister à produire un message d'alerte ou à laisser passer un message d'alerte provenant de systèmes embarqués de signalisation automatique des risques de collision avec le sol. Dans ce dernier cas, le système d'aide à l'atterrissage 1 officie comme filtre des messages provenant des systèmes embarqués, pour supprimer des messages
20 intempestifs et peu appropriés à la situation courante.

Des alertes dédiées et spécifiques à la combinaison de risques évalués peuvent être proposées. Dans les deux cas, il est également possible de reprendre les alertes du système TAWS déjà existantes. Dans une combinaison de ces deux possibilités, on peut prévoir des alertes dédiées et
25 spécifiques en complément de celles du système TAWS, en modifiant l'inhibition du système TAWS afin de profiter des alertes existantes pendant la phase finale d'approche.

Deux natures d'alerte peuvent être prévues :

– d'une part, une alerte visuelle. Dans ce cas, une liaison est utilisée entre un calculateur qui peut héberger les modules 2, 4, 5, 7, 8 du système d'aide à l'atterrissage 1 et un générateur de message visuel sur un écran de vol principal (PFD pour « Primary Flight Display » en anglais), une lampe dédiée, etc. situés dans le poste de pilotage de l'aéronef AC ; et

– d'autre part, une alerte sonore ou orale. Dans ce cas, une liaison est utilisée entre le calculateur qui peut héberger les modules 2, 4, 5, 7, 8 du système d'aide à l'atterrissage 1 et un générateur de message audio situé dans le poste de pilotage de l'aéronef AC.

De même, plusieurs niveaux d'alerte peuvent être prévus, s'appuyant par exemple sur différentes marges définissant différentes altitudes prédéterminées Z_{risque} et/ou positions auxiliaires X_{risque} utilisées pour évaluer le premier risque.

Par exemple, deux niveaux d'alerte peuvent être proposés :

– l'un servant de premier avertissement pour l'équipage. À ce stade, le risque de collision avec le sol n'est pas imminent car les marges utilisées sont importantes, ce qui permet de déclencher l'alerte préventive plusieurs secondes avant que le risque ne devienne imminent. La procédure associée à cette alerte consiste à corriger la trajectoire (généralement se rapprocher de la trajectoire nominale 9) afin de retrouver une situation sans risque. Cependant, si aucune correction de trajectoire n'est engagée par le pilote, le risque augmentera de sorte à basculer vers le deuxième niveau d'alerte ;

– l'autre servant d'avertissement d'un risque imminent. Cette alerte s'appuie sur les algorithmes décrits plus haut avec des marges minimales, mais suffisantes pour éviter la collision si une action, généralement de manœuvre d'évitement (interruption de l'approche et remise maximale des gaz), est immédiatement prise par le pilote.

Selon un mode de réalisation, les modules 2, 4, 5, 7, 8 sont intégrés dans une unité centrale ou un calculateur.

À titre d'exemple, les modules 2, 4, 5, 7, 8 du système d'aide à l'atterrissage 1 correspondent à des algorithmes mis en œuvre de façon logicielle dans l'unité centrale. En particulier, les modules 2, 4, 5, 7, 8 peuvent être stockés dans au moins une zone mémoire de l'unité centrale.

5 Le système d'aide à l'atterrissage 1 met en œuvre un procédé d'aide à l'atterrissage d'un aéronef AC en phase d'approche d'une piste d'atterrissage T.

Le procédé (figure 2) comprend les étapes suivantes :

- 10 – une étape E1 de calcul, mise en œuvre par le module de calcul 2, consistant à calculer par extrapolation une trajectoire 3 de l'aéronef AC à partir d'une position courante P de l'aéronef AC,
- une étape E2 de détermination, mise en œuvre par le module de détermination 4, consistant à déterminer si la trajectoire extrapolée 3 de l'aéronef AC coupe le sol avant un seuil S de la piste d'atterrissage T.
- 15 – une étape E3 de mesure, mise en œuvre par le module de mesure 5, consistant à mesurer une hauteur courante H de l'aéronef AC au-dessus d'un terrain survolé 6,
- une étape E4 de détermination, mise en œuvre par le module de détermination 7, consistant à déterminer si la hauteur courante H correspond
- 20 à une hauteur considérée comme une hauteur à risque,
- une étape E5 d'alerte, mise en œuvre par le module d'alerte 8, consistant à générer une alerte destinée à un équipage de l'aéronef AC uniquement si les deux conditions suivantes sont remplies :
 - 25 ○ les deux déterminations des deux étapes E2 et E4 de détermination sont positives, et
 - l'aéronef AC se situe à une distance par rapport au seuil S de la piste d'atterrissage T inférieure à une distance seuil prédéterminée.

L'étape E2 de détermination peut consister à déterminer :

- si la trajectoire extrapolée 3 de l'aéronef AC passe sous une altitude prédéterminée à la verticale du seuil S de la piste d'atterrissage T, ou
 - si la trajectoire extrapolée 3 de l'aéronef AC passe, à l'altitude du seuil S de la piste d'atterrissage T, avant une position auxiliaire en amont de celle du seuil S de piste T selon un axe longitudinal A de la piste T.
- 5

L'étape E4 de détermination peut consister à comparer la hauteur courante H de l'aéronef AC avec une hauteur seuil prédéterminée. La hauteur courante H est considérée comme hauteur à risque si ladite hauteur courante H est inférieure à une hauteur seuil prédéterminée.

REVENDICATIONS

1. Procédé d'aide à l'atterrissage d'un aéronef (AC) en phase d'approche d'une piste d'atterrissage (T),

5 comprenant les étapes suivantes :

– une étape (E1) de calcul, mise en œuvre par un module de calcul (2), consistant à calculer par extrapolation une trajectoire (3) de l'aéronef (AC) à partir d'une position courante (P) de l'aéronef (AC),

10 – une première étape (E2) de détermination, mise en œuvre par un premier module de détermination (4), consistant à déterminer si la trajectoire extrapolée (3) de l'aéronef (AC) coupe le sol avant un seuil (S) de la piste d'atterrissage (T) ;

le procédé étant caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes :

15 – une étape (E3) de mesure, mise en œuvre par un module de mesure (5), consistant à mesurer une hauteur courante (H) de l'aéronef (AC) au-dessus d'un terrain survolé (6),

20 – une deuxième étape (E4) de détermination, mise en œuvre par un deuxième module de détermination (7), consistant à déterminer si la hauteur courante (H) correspond à une hauteur considérée comme une hauteur à risque,

– une étape (E5) d'alerte, mise en œuvre par un module d'alerte (8), consistant à générer une alerte destinée à un équipage de l'aéronef (AC) uniquement si les deux conditions suivantes sont simultanément remplies :

- 25
- les deux déterminations des deux étapes (E2, E4) de détermination sont positives, et
 - l'aéronef (AC) se situe à une distance par rapport au seuil (S) de la piste d'atterrissage (T) inférieure à une distance seuil prédéterminée.

2. Procédé selon la revendication 1,

caractérisé en ce que la trajectoire extrapolée (3) calculée dans l'étape (E1) de calcul est extrapolée à partir de la position courante (P), de la vitesse courante et de l'accélération courante de l'aéronef (AC).

3. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 ou 2,

5 caractérisé en ce que la première étape (E2) de détermination consiste à déterminer :

– si la trajectoire extrapolée (3) de l'aéronef (AC) passe sous une altitude prédéterminée à la verticale du seuil (S) de la piste d'atterrissage (T), ou

10 – si la trajectoire extrapolée (3) de l'aéronef (AC) passe, à l'altitude du seuil (S) de la piste d'atterrissage (T), avant une position auxiliaire en amont de celle du seuil (S) de piste (T) selon un axe longitudinal (A) de la piste (T).

4. Procédé selon la revendication 3,

15 caractérisé en ce que l'altitude prédéterminée correspond à l'altitude du seuil (S) de piste (T), la position auxiliaire correspondant à la position du seuil (S) de piste (T) selon l'axe longitudinal (A).

5. Procédé selon la revendication 3,

caractérisé en ce que l'altitude prédéterminée correspond à l'altitude du seuil (S) de piste (T) à une marge près, la position auxiliaire correspondant à la position du seuil (S) de piste (T) selon l'axe longitudinal (A) à une marge près.

20 6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5,

caractérisé en ce que la deuxième étape (E4) de détermination consiste à comparer la hauteur courante (H) de l'aéronef (AC) avec une hauteur seuil prédéterminée, la hauteur courante (H) étant considérée comme hauteur à risque si ladite hauteur courante (H) est inférieure à la hauteur seuil
25 prédéterminée.

7. Procédé selon la revendication 6,

caractérisé en ce que la hauteur seuil prédéterminée est fonction de la distance horizontale entre l'aéronef (AC) et la piste d'atterrissage (T).

8. Procédé selon l'une quelconque des revendications 6 ou 7, caractérisé en ce que la hauteur seuil est égale à la différence entre, d'une part, une première hauteur correspondant à une hauteur nominale comprise dans une trajectoire d'approche nominale (9) à une distance courante (11) de l'aéronef (AC) par rapport au seuil (S) de la piste d'atterrissage (T) et, d'autre part, une deuxième hauteur correspondant à une hauteur comprise dans une surface prédéterminée (12) à la verticale de la position courante (P) de l'aéronef.

9. Procédé selon la revendication 8, caractérisé en ce que la surface prédéterminée (12) correspond à une surface établissant des limites de hauteur autour de la piste d'atterrissage (T).

10. Procédé selon la revendication 8, caractérisé en ce que la surface prédéterminée (12) correspond à une surface établissant des limites de hauteur autour de la piste d'atterrissage (T) à une marge près.

11. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisé en ce que la distance seuil prédéterminée est sensiblement égale à 3 NM.

12. Système d'aide à l'atterrissage d'un aéronef (AC) en phase d'approche d'une piste d'atterrissage (T), comprenant :

- un module de calcul (2) configuré pour calculer par extrapolation une trajectoire (3) de l'aéronef (AC) à partir d'une position courante (P) de l'aéronef (AC),
 - un premier module de détermination (4) configuré pour déterminer si la trajectoire extrapolée (3) de l'aéronef (AC) coupe le sol avant un seuil (S) de la piste d'atterrissage (T) ;
- le système (1) étant caractérisé en ce qu'il comprend :

– un module de mesure (5) configuré pour mesurer une hauteur courante (H) de l'aéronef (AC) au-dessus d'un terrain survolé (6),

– un deuxième module de détermination (7) configuré pour déterminer si la hauteur courante (H) correspond à une hauteur considérée comme une hauteur à risque,

– un module d'alerte (8) configuré pour générer une alerte destinée à un équipage de l'aéronef (AC) uniquement si les deux conditions suivantes sont remplies :

- les deux déterminations réalisées par les deux modules de détermination (4, 7) sont positives, et
- l'aéronef (AC) se situe à une distance (11) par rapport au seuil (S) de la piste d'atterrissage (T) inférieure à une distance seuil prédéterminée.

13. Système selon la revendication 12, caractérisé en ce que le premier module de détermination (4) est configuré pour déterminer :

- si la trajectoire extrapolée (3) de l'aéronef (AC) passe sous une altitude prédéterminée à la verticale du seuil (S) de la piste d'atterrissage (T), ou
- si la trajectoire extrapolée (3) de l'aéronef (AC) passe, à l'altitude du seuil (S) de la piste d'atterrissage (T), avant une position auxiliaire en amont de celle du seuil (S) de piste (T) selon un axe longitudinal (A) de la piste (T).

14. Système selon l'une quelconque des revendications 12 ou 13, caractérisé en ce que le deuxième module de détermination (7) est configuré pour comparer la hauteur courante (H) de l'aéronef (AC) avec une hauteur seuil, la hauteur courante (H) étant considérée comme risquée si ladite hauteur courante (H) est inférieure à une hauteur seuil prédéterminée.

15. Aéronef,

caractérisé en ce qu'il comporte un système d'aide à l'atterrissage (1) d'un aéronef (AC) en phase d'approche d'une piste d'atterrissage (T), tel que celui spécifié sous l'une quelconque des revendications 12 à 14.

1/2

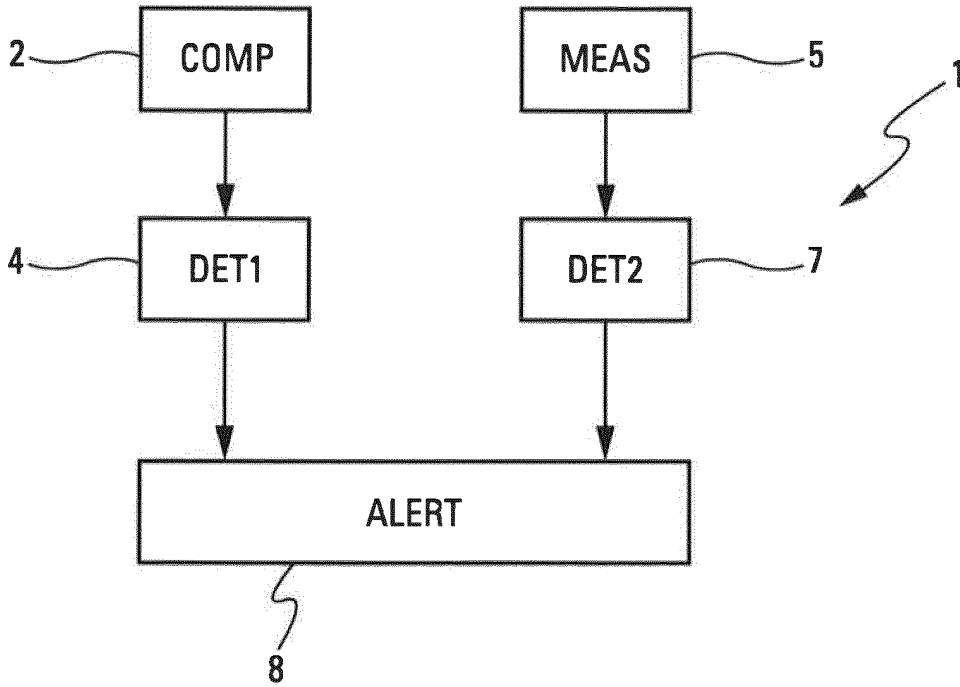


Fig. 1

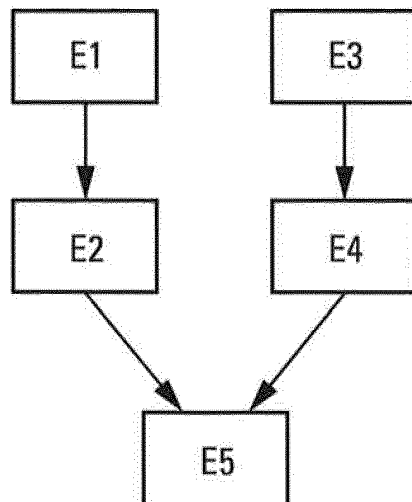


Fig. 2

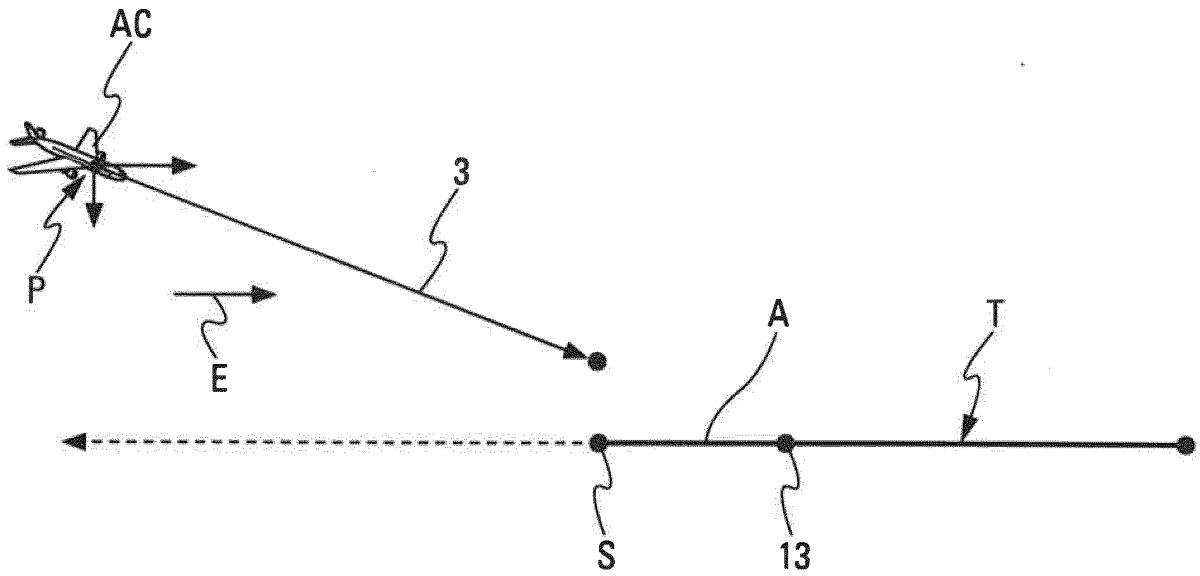


Fig. 3

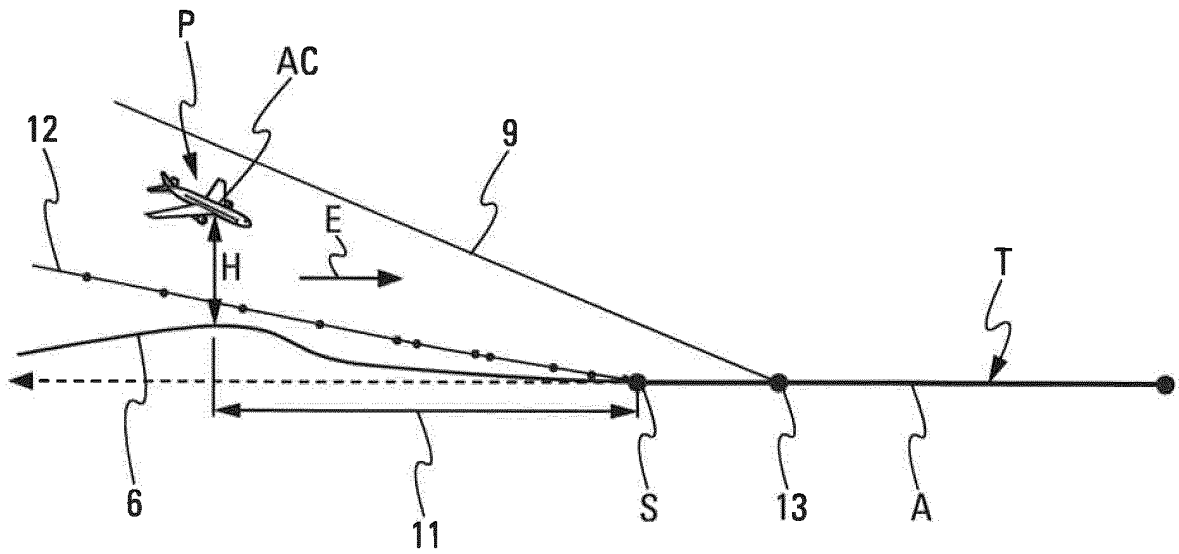


Fig. 4

RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

Le demandeur a maintenu les revendications.

Le demandeur a modifié les revendications.

Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION

EP 0 717 330 A1 (AEROSPATIALE [FR]) 19 juin 1996 (1996-06-19)

US 2004/093131 A1 (BLOCK GERALD J [US] ET AL) 13 mai 2004 (2004-05-13)

FR 3 044 298 A1 (AIRBUS [FR]) 2 juin 2017 (2017-06-02)

EP 0 674 300 A1 (SEXTANT AVIONIQUE [FR]) 27 septembre 1995 (1995-09-27)

FR 2 915 610 A1 (THALES SA [FR]) 31 octobre 2008 (2008-10-31)

US 2002/089433 A1 (BATEMAN C DON [US] ET AL) 11 juillet 2002 (2002-07-11)

2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN TECHNOLOGIQUE GENERAL

NEANT

3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND DE LA VALIDITE DES PRIORITES

NEANT