(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

COURBEVOIE

(11) **N° de publication :** **3 133 916**
(à n'utiliser que pour les commandes de reproduction)

(21) **N° d'enregistrement national :** **22 02494**

(51) Int Cl[8] : ***G 01 C 21/20*** *(2022.01), G 08 G 5/00, B 64 C 19/00, G 06 Q 10/04*

(12) **BREVET D'INVENTION** **B1**

(54) Procédé de détermination d'au moins un profil de vol d'essai d'un aéronef pour la réalisation d'une campagne d'essai en vol de l'aéronef et système associé.

(22) **Date de dépôt :** 22.03.22.

(30) **Priorité :**

(43) **Date de mise à la disposition du public de la demande :** 29.09.23 Bulletin 23/39.

(45) **Date de la mise à disposition du public du brevet d'invention :** 29.03.24 Bulletin 24/13.

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

Se reporter à la fin du présent fascicule

(60) **Références à d'autres documents nationaux apparentés :**

◯ **Demande(s) d'extension :**

(71) **Demandeur(s) :** *DASSAULT AVIATION Société anonyme* — FR.

(72) **Inventeur(s) :** DIDIER Thomas et CHATEL Florian.

(73) **Titulaire(s) :** DASSAULT AVIATION Société anonyme.

(74) **Mandataire(s) :** Lavoix.

FR 3 133 916 - B1

Description

Titre de l'invention : Procédé de détermination d'au moins un profil de vol d'essai d'un aéronef pour la réalisation d'une campagne d'essai en vol de l'aéronef et système associé

[0001] La présente invention concerne un procédé de détermination d'au moins un profil de vol d'essai optimisé d'un aéronef pour la réalisation d'une campagne d'essai en vol de l'aéronef, à partir d'une liste de points de vol à atteindre durant la campagne.

[0002] L'objectif d'une telle campagne d'essai en vol est de permettre la mesure de performances de l'aéronef dans des conditions particulières de vol, ces conditions étant déterminées par les points de vol que doit balayer l'aéronef. En particulier, les performances de l'aéronef doivent être mesurées à chaque point de vol spécifié lorsque l'aéronef est en palier stabilisé dans les conditions déterminées par les points de vol.

[0003] Pour préparer la campagne d'essai en vol permettant d'atteindre tous les points de la liste de points de vol, il est nécessaire de définir un profil de vol d'essai ou généralement plusieurs profils de vols d'essai successifs, chaque profil de vol d'essai étant ensuite destiné à être suivi lors d'un vol d'essai particulier effectué avec l'aéronef lors de la campagne.

[0004] Pour déterminer le ou chaque profil de vol d'essai de la campagne, il est nécessaire de procéder à plusieurs calculs en amont du vol d'essai pour mettre en évidence les points de vol qui pourront être traités. Notamment, pour réaliser de tels calculs, la consommation en carburant de l'aéronef lors des phases de transition (montées, descentes, accélération, décélérations), la consommation en carburant lors des phases de vol en palier, la masse d'accrochage, la vitesse maximale en palier, la vitesse ascensionnelle maximale sont prises en compte. Sur la base des résultats des différents calculs, des produits en croix sont utilisés pour estimer la consommation de carburant au cours du vol et déterminer quels points de vol pourront être traités tout en restant conforme aux conditions de vol qui leurs sont associées, puis, le cas échéant, de répartir les points de vol entre les différents profils.

[0005] Cette méthode présente plusieurs inconvénients.

[0006] Tout d'abord, cette méthode est manuelle. Elle nécessite l'utilisation d'un tableur pour intégrer les différentes consommations de carburant lors du vol.

[0007] Cette méthode est également très chronophage et permet difficilement de trouver un ou des profils de vol d'essai optimaux permettant d'enchaîner l'ensemble des points de vol avec un nombre le plus réduit possible d'heures de vol et de vols.

[0008] Cette méthode est peu robuste notamment lorsque les conditions de vol associées à chaque point de vol sont précises et n'autorisent qu'une faible tolérance.

[0009] Enfin, cette méthode se fonde exclusivement sur le dossier de performances avant vol, c'est-à-dire sur des calculs avant vol issus de résultats de mécanique des fluides numérique (ou « *CFD* » pour « *computational fluid dynamics* » en anglais), de soufflerie et d'expérience des avions précédents. Lors du vol d'essai, elle ne permet pas de mettre à jour le profil de vol en fonction de conditions réelles subies lors du vol.

[0010] Un but de l'invention est donc de fournir un procédé de détermination d'au moins un profil de vol d'essai pour la réalisation d'une campagne d'essai en vol de l'aéronef comprenant une liste de points de vol à atteindre durant la campagne, le procédé étant automatique, rapide et efficace.

[0011] A cet effet, l'invention a pour objet un procédé de détermination d'au moins un profil de vol d'essai optimisé d'un aéronef pour la réalisation d'une campagne d'essai en vol de l'aéronef, à partir d'une liste de points de vol à atteindre durant la campagne d'essai en vol, le procédé étant mis en œuvre par un système de détermination de profil de vol d'essai d'un aéronef pour la réalisation d'une campagne d'essai en vol de l'aéronef, chaque point de vol comprenant une contrainte opérationnelle pour chacun d'une pluralité de paramètres de vol, les paramètres de vol comprenant la vitesse, l'altitude et le coefficient de portance de l'aéronef,

[0012] le ou chaque profil de vol d'essai comprenant une succession d'étapes de vol, chaque étape de vol étant associée de manière unique à un point de vol, l'aéronef étant destiné, lors de chaque étape de vol, à respecter les contraintes opérationnelles associées pendant une temporisation au moins égale à une durée prédéterminée,

[0013] le procédé comprenant :

[0014] - la détermination d'un premier point de vol à associer à une première étape de vol du profil de vol d'essai ; et

[0015] - pour une étape de vol donnée associée à un point de vol donné, la détermination, pour une étape de vol subséquente, d'un point de vol subséquent parmi les points de vol non encore associés à une étape de vol, la détermination du point de vol subséquent étant basée sur le respect d'au moins un premier critère, le premier critère étant que la variation d'une grandeur déterminante soit minimale entre le point de vol donné et le point de vol subséquent, la grandeur déterminante étant définie en fonction de la contrainte opérationnelle pour la vitesse de l'aéronef et/ou de la contrainte opérationnelle pour l'altitude de l'aéronef.

[0016] Le procédé selon l'invention peut comprendre l'une ou plusieurs des caractéristiques suivantes, prise(s) isolément ou suivant toute combinaison techniquement possible :

[0017] - la grandeur déterminante est choisie parmi :

[0018] (i) une hauteur totale définie par l'équation suivante $H_{TOT} = \frac{v^2}{2g} + h$ où v est la contrainte opérationnelle pour la vitesse de l'aéronef, g est l'accélération de la

pesanteur et h est la contrainte opérationnelle pour l'altitude de l'aéronef ;

[0019] (ii) une énergie totale E_{TOT} définie par l'équation suivante $E_{TOT} = m.g.H_{TOT}$ ou m est une contrainte opérationnelle de masse de l'aéronef ; ou

[0020] (iii) la contrainte opérationnelle pour l'altitude de l'aéronef ;

[0021] - le premier point de vol est déterminé en fonction d'une étape de vol initiale, correspondant au début du vol d'essai, lors de laquelle l'aéronef présente des paramètres de vol initiaux correspondant à un point de vol initial, de sorte que la variation de la grandeur déterminante soit minimale entre le point de vol initial et le premier point de vol ;

[0022] - pour chaque point de vol, la contrainte opérationnelle pour le coefficient de portance comporte un intervalle de tolérance de masse de l'aéronef, centré sur une valeur médiane de contrainte de masse, la détermination du point de vol subséquent est, en outre, basée sur le respect d'au moins un deuxième critère, le deuxième critère étant que la valeur minimale de contrainte de masse du point de vol subséquent soit inférieure ou égale à la valeur de masse au point de vol donné ;

[0023] - la détermination du point de vol subséquent est, en outre, basée sur le respect d'au moins un troisième critère, le troisième critère étant que l'intervalle de tolérance de masse du point de vol subséquent présente une intersection non-vide avec l'intervalle de tolérance de masse du point de vol donné ;

[0024] - chaque point de vol de la liste de points de vol est un point de vol de référence ou un point de vol complémentaire,

[0025] dans lequel pour chaque point de vol complémentaire, la contrainte opérationnelle pour le coefficient de portance est associée à un intervalle de modification de la contrainte opérationnelle pour l'altitude de l'aéronef,

[0026] le procédé étant tel que si aucun point de vol non encore associé à une étape de vol ne respecte le troisième critère, alors le procédé comprend une étape de calcul de points de vol complémentaires modifiés issus de points de vol complémentaires respectant les premier et deuxième critères non encore associés à une étape de vol,

[0027] chaque point de vol complémentaire modifié comprenant un intervalle de tolérance de masse modifié obtenu par modification de la contrainte opérationnelle pour l'altitude dans l'intervalle de modification de la contrainte opérationnelle pour l'altitude correspondant,

[0028] la détermination du point de vol subséquent étant effectuée parmi les points de vol complémentaires modifiés et étant basée sur le respect du troisième critère appliqué aux points de vol complémentaire modifiés ;

[0029] - la détermination du point de vol subséquent est, en outre, basée sur le respect d'au moins un quatrième critère, le quatrième critère étant qu'un temps d'attente, correspondant au temps nécessaire pour qu'une valeur moyenne de la masse de l'aéronef

sur une temporisation passe d'une valeur donnée correspondant à l'étape de vol donnée à une valeur comprise dans l'intervalle de tolérance de masse du point de vol subséquent, soit inférieur à un temps d'attente maximum ;

[0030] - la détermination du point de vol subséquent est, en outre, basée sur le respect d'au moins un cinquième critère, le cinquième critère étant que la valeur moyenne de la masse de l'aéronef sur une temporisation lors de l'étape de vol subséquente soit comprise dans l'intervalle de tolérance de masse du point de vol subséquent ;

[0031] - la valeur donnée de la moyenne de la masse de l'aéronef sur une temporisation lors de l'étape de vol donnée est estimée en amont du vol ;

[0032] - la détermination du point de vol subséquent est modifiée sur la base d'une valeur donnée de la moyenne de la masse de l'aéronef sur une temporisation lors de l'étape de vol donnée, mesurée lors de l'étape de vol donnée ;

[0033] - si aucun point de vol non encore associé à une étape de vol ne respecte les critères, alors l'étape de vol subséquente est une fin du vol d'essai ; et

[0034] - les paramètres de vol comprennent en outre le centrage de l'aéronef.

[0035] - le procédé comprend la détermination d'un premier profil de vol atteignant une première partie des points de vol de la liste de points de vol à atteindre durant la campagne et la détermination successive d'au moins un deuxième profil de vol atteignant une deuxième partie des points de vol de la liste de points de vol à atteindre durant la campagne.

[0036] L'invention a également pour objet l'utilisation du ou de chaque profil de vol d'essai déterminé par le procédé de détermination défini plus haut pour mettre en œuvre une campagne d'essai en vol comportant un vol d'essai suivant le ou chaque profil de vol d'essai.

[0037] L'invention a également pour objet un système de détermination d'au moins un profil de vol d'essai optimisé d'un aéronef pour la réalisation d'une campagne d'essai en vol de l'aéronef, à partir d'une liste de points de vol à atteindre durant la campagne d'essai en vol, le système comprenant une unité de détermination du profil de vol d'essai de l'aéronef, et une unité d'acquisition de la liste de points de vol, chaque point de vol comprenant une contrainte opérationnelle pour chacun d'une pluralité de paramètres de vol, les paramètres de vol comprenant la vitesse, l'altitude et le coefficient de portance de l'aéronef, le profil de vol d'essai comprenant une succession d'étapes de vol, chaque étape de vol étant associée de manière unique à un point de vol, l'aéronef étant destiné, lors de chaque étape de vol, à respecter les contraintes opérationnelles associées pendant une temporisation au moins égale à une durée prédéterminée,

[0038] l'unité de détermination étant configurée pour :

[0039] - déterminer un premier point de vol à associer à une première étape de vol du profil de vol d'essai ; et

[0040] - déterminer, pour une étape de vol donnée associée à un point de vol donné, un point de vol subséquent pour une étape de vol subséquente parmi les points de vol non encore associés à une étape de vol, sur la base du respect d'au moins un premier critère, le premier critère étant que la variation d'une grandeur déterminante soit minimale entre le point de vol donné et le point de vol subséquent,

[0041] la grandeur déterminante étant définie en fonction de la contrainte opérationnelle pour la vitesse de l'aéronef et/ou de la contrainte opérationnelle pour l'altitude de l'aéronef,

[0042] la grandeur déterminante étant éventuellement choisie parmi :

[0043] (i) une hauteur totale définie par l'équation suivante $H_{TOT} = \frac{v^2}{2g} + h$ où v est la contrainte opérationnelle pour la vitesse de l'aéronef, g est l'accélération de la pesanteur et h est la contrainte opérationnelle pour l'altitude de l'aéronef,

[0044] (ii) une énergie totale E_{TOT} définie par l'équation suivante $E_{TOT} = m.g.H_{TOT}$ ou m est une contrainte opérationnelle de masse de l'aéronef ou

[0045] (iii) une contrainte opérationnelle pour l'altitude de l'aéronef.

[0046] Le système selon l'invention peut comprendre l'une ou plusieurs des caractéristiques suivantes, prise(s) isolément ou suivant toute combinaison techniquement possible :

[0047] - pour chaque point de vol, la contrainte opérationnelle pour le coefficient de portance comporte un intervalle de tolérance de masse de l'aéronef, centré sur une valeur médiane de contrainte de masse,

[0048] l'unité de détermination étant configurée pour déterminer le point de vol subséquent sur la base du respect d'au moins un deuxième critère, le deuxième critère étant que la valeur minimale de contrainte de masse du point de vol subséquent soit inférieure ou égale à la valeur de masse au point de vol donné ;

[0049] - l'unité de détermination est configurée pour déterminer le point de vol subséquent sur la base du respect d'au moins un troisième critère, le troisième critère étant que l'intervalle de tolérance de masse du point de vol subséquent présente une intersection non-vide avec l'intervalle de tolérance de masse du point de vol donné ; et

[0050] - chaque point de vol de la liste de points de vol est un point de vol de référence ou un point de vol complémentaire,

[0051] dans lequel pour chaque point de vol complémentaire, la contrainte opérationnelle pour le coefficient de portance est associé à un intervalle de modification de la contrainte opérationnelle pour l'altitude de l'aéronef,

[0052] l'unité de détermination étant configurée de sorte que si aucun point de vol non encore associé à une étape de vol ne respecte le troisième critère, alors l'unité de détermination calcule des points de vol complémentaires modifiés issus de points de vol complémentaires respectant les premier et deuxième critères non encore associés à une

étape de vol,

[0053] chaque point de vol complémentaire modifié comprenant un intervalle de tolérance de masse modifié obtenu par modification de la contrainte opérationnelle pour l'altitude dans l'intervalle de modification de la contrainte opérationnelle pour l'altitude correspondant,

[0054] l'unité de détermination étant configurée pour déterminer le point de vol subséquent parmi les points de vol complémentaire modifiés, sur la base du respect du troisième critère appliqué aux points de vol complémentaire modifiés.

[0055] L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui va suivre, donnée uniquement à titre d'exemple, et faite en se référant aux dessins annexés, sur lesquels :

[0056] [Fig.1] la [Fig.1] illustre un exemple de liste de points de vol à partir de laquelle un profil de vol d'essai est déterminé par le procédé selon l'invention ;

[0057] [Fig.2] la [Fig.2] illustre un exemple de profil de vol d'essai déterminé à partir d'une liste de points de vol par le procédé selon l'invention ;

[0058] [Fig.3] la [Fig.3] est une représentation schématique d'un système de détermination d'un profil de vol d'essai d'un aéronef, selon l'invention ;

[0059] [Fig.4] la [Fig.4] représente un ordinogramme illustrant la mise en œuvre du procédé de détermination d'un profil de vol d'essai d'un aéronef, selon l'invention ;

[0060] [Fig.5] la [Fig.5] est une représentation d'un graphe ayant pour abscisse la grandeur déterminante et pour ordonnée la masse de l'aéronef, sur lequel des points masse/ hauteur totale sont placés, chacun des points masse/hauteur totale étant associé à au moins un point de vol d'une première liste de points de vol ;

[0061] [Fig.6] la [Fig.6] est une représentation similaire à celle de la [Fig.5], sur laquelle des étapes de vol d'un premier profil de vol d'essai, déterminé à partir de la première liste de points de vol, sont en outre illustrées ;

[0062] [Fig.7] la [Fig.7] est une représentation similaire à celle de la [Fig.5], sur laquelle des étapes de vol d'un deuxième profil de vol d'essai, déterminé à partir de la première liste de points de vol, sont en outre illustrées ;

[0063] [Fig.8] la [Fig.8] est une représentation similaire à celle de la [Fig.5], sur laquelle chacun des points masse/hauteur totale est associé à au moins un point de vol d'une deuxième liste de points de vol et des étapes de vol d'un profil de vol d'essai, déterminé à partir d'une deuxième liste de points de vol, sont illustrées.

[0064] Une liste de points de vol destinés à être atteints par un aéronef lors d'une campagne d'essai en vol comprenant au moins un vol d'essai est illustrée sur la [Fig.1].

[0065] La liste de points de vol comprend une pluralité de points de vol. Chaque point de vol comprend une contrainte opérationnelle pour chacun d'une pluralité de paramètres de vol.

[0066] Les paramètres de vol comprennent la vitesse (ici un Mach), l'altitude et le co-

efficient de portance (Cz) de l'aéronef. Optionnellement, les paramètres de vol comprennent en outre le centrage de l'aéronef (abrégé en « CG » sur la [Fig.1]).

[0067] Comme il sera détaillé plus bas, la contrainte opérationnelle pour le coefficient de portance est ici retranscrite sous la forme d'une contrainte opérationnelle pour la masse de l'aéronef. En d'autres termes, il est considéré que l'aéronef respecte la contrainte opérationnelle pour le coefficient de portance d'un point de vol lorsqu'elle respecte la contrainte opérationnelle pour la masse associée tout en respectant les contraintes opérationnelles pour l'altitude et la vitesse correspondantes de ce point de vol.

[0068] Avantageusement, pour chaque point de vol, la contrainte opérationnelle pour le coefficient de portance, ou en d'autres termes la contrainte opérationnelle pour la masse, comporte un intervalle de tolérance de masse de l'aéronef. L'intervalle de tolérance de masse est alors centré sur une valeur médiane de contrainte de masse correspondant à la contrainte opérationnelle pour la masse associée.

[0069] Il est considéré que l'aéronef respecte une contrainte opérationnelle pour la vitesse lorsqu'en vol, la vitesse de l'aéronef est sensiblement égale à cette dite contrainte opérationnelle pour la vitesse. En particulier, il sera considéré que l'aéronef respecte la contrainte opérationnelle pour la vitesse si l'écart entre la vitesse de l'aéronef en Mach et la contrainte opérationnelle pour la vitesse en Mach est inférieur à un centième de Mach.

[0070] Il est considéré que l'aéronef respecte une contrainte opérationnelle pour l'altitude lorsqu'en vol, l'altitude de l'aéronef est sensiblement égale à cette dite contrainte opérationnelle pour l'altitude. En particulier, il sera considéré que l'aéronef respecte la contrainte opérationnelle pour l'altitude lorsqu'en vol, l'écart entre l'altitude de l'aéronef et la contrainte opérationnelle pour l'altitude est inférieur à 200 pieds.

[0071] Il est considéré que l'aéronef respecte une contrainte opérationnelle pour le coefficient de portance, c'est-à-dire comme expliqué ci-dessus la contrainte opérationnelle pour la masse tout en respectant les contraintes opérationnelles pour l'altitude et la vitesse correspondantes du point de vol correspondant, lorsqu'en vol, la masse de l'aéronef est sensiblement égale à cette dite contrainte pour la masse ou du moins lorsqu'en vol la masse de l'aéronef est comprise dans l'intervalle de tolérance de masse.

[0072] Il est considéré que l'aéronef respecte une contrainte opérationnelle pour le centrage de l'aéronef lorsqu'en vol, le centrage de l'aéronef est sensiblement égal à ce dit centrage. En particulier, Il est considéré que l'aéronef respecte une contrainte opérationnelle pour le centrage de l'aéronef lorsqu'en vol, l'écart entre le centrage de l'aéronef et la contrainte opérationnelle pour le centrage de l'aéronef est inférieur à 2% de corde moyenne aérodynamique (CMA).

[0073] Avantageusement, chaque point de vol de la liste de points de vol est un point de vol

de référence ou un point de vol complémentaire.

[0074] Pour chaque point de vol complémentaire, la contrainte opérationnelle pour le coefficient de portance est associée à un intervalle de modification de la contrainte opérationnelle pour l'altitude de l'aéronef. Comme il sera détaillé ci-dessous, chaque point de vol complémentaire est modifiable par modification de la contrainte opérationnelle pour l'altitude dans l'intervalle de modification correspondant. En d'autres termes, l'intervalle de modification de la contrainte opérationnelle pour l'altitude correspond à un degré de liberté permettant d'ajuster la contrainte opérationnelle pour l'altitude afin de respecter la contrainte opérationnelle pour le coefficient de portance lorsque, par exemple, il n'est pas possible de respecter la contrainte opérationnelle pour la masse.

[0075] En référence à la [Fig.1], la liste de points de vol est sous la forme d'un tableau de données dont chaque colonne correspond à une contrainte opérationnelle pour un paramètre de vol et dont chaque ligne correspond à au moins un point de vol. Ici, chaque ligne correspond à trois points de vol (cela est dû au fait que chaque ligne présente trois contraintes opérationnelles pour la masse et trois intervalles de tolérance de masse associés).

[0076] Comme illustré sur la [Fig.1], la vitesse de l'aéronef est, par exemple, exprimée en nombre de Mach, l'altitude de l'aéronef est exprimée en pieds et la masse de l'aéronef est exprimée en livres, conformément à la pratique dans le domaine aéronautique. Sur la [Fig.1], le centrage de l'aéronef est exprimé en trois valeurs distinctes « REF », « AV » et « ARR » correspondant respectivement à un centrage en un point de référence propre à chaque avion, à un centrage avant situé en avant de ce point de référence et à un centrage arrière situé en arrière de ce point de référence. Le centrage, autrement dit la position du centre de gravité de l'aéronef, est en pratique donnée en pourcentage de CMA. Par exemple, les valeurs maximales de centrage avant sont de l'ordre de 15% à 20% et les valeurs maximales de centrage arrière sont de l'ordre 35% à 40%.

[0077] Par exemple, sur la [Fig.1], un premier point de vol de la liste (première ligne du tableau) comprend une contrainte opérationnelle pour l'altitude de 5 000 pieds, une contrainte opérationnelle pour la vitesse de 0,3 Mach, une contrainte opérationnelle pour la masse de 40 000 livres avec un intervalle de tolérance de masse compris entre 38 000 livres et 42 000 livres et une contrainte opérationnelle pour le centrage égale à un centrage au point de référence.

[0078] Sur l'exemple de la [Fig.1], un deuxième point de vol de la liste (première ligne du tableau) comprend une contrainte opérationnelle pour l'altitude de 5 000 pieds, une contrainte opérationnelle pour la vitesse de 0,3 Mach, une contrainte opérationnelle pour la masse de 55 000 livres avec un intervalle de tolérance de masse compris entre 53 000 livres et 57 000 livres et une contrainte opérationnelle pour le centrage égale à

un centrage au point de référence.

[0079] Par « atteinte d'un point de vol », il est entendu que l'aéronef est dans un état dans lequel il respecte les contraintes opérationnelles des paramètres de vol dudit point de vol. En d'autres termes, il est alors entendu que l'aéronef est dans un état dans lequel les paramètres de vol de l'aéronef correspondent aux contraintes opérationnelles dudit point de vol, ou du moins sont dans la tolérance associée le cas échéant.

[0080] Par exemple, chaque point de vol correspond à un état de l'aéronef dans lequel il est souhaitable de mesurer des performances de l'aéronef. Notamment, l'objectif est, lors du vol d'essai, de mesurer la poussée engendrée par un groupe propulseur de l'aéronef dans les états de l'aéronef correspondant aux points de vol de la liste et d'en déduire la traînée par la résolution des équations de la mécanique du vol.

[0081] Avantageusement, la comparaison des performances de l'aéronef aux points de vol de référence permet de mettre en évidence l'influence de la vitesse de l'aéronef et l'influence du coefficient de portance de l'aéronef sur la traînée engendrée à iso-altitude. Encore avantageusement, la comparaison des performances de l'aéronef aux points de vol complémentaires permet de mettre en évidence l'influence de l'altitude de l'aéronef à iso-vitesse ou l'influence du centrage à iso-coefficient de portance sur la traînée engendrée.

[0082] Dans l'objectif de maximiser le nombre de points de vol traités lors d'un même vol d'essai, un profil de vol d'essai est déterminé à partir d'une liste de points de vol à atteindre durant la campagne d'essai en vol, telle que celle illustrée sur la [Fig.1], grâce à l'invention.

[0083] Dans certains cas, un seul profil de vol d'essai correspondant à un seul vol d'essai est suffisant pour traiter tous les points de vols. En variante, plusieurs profils de vols d'essais successifs, correspondant à plusieurs vols au sein de la même campagne de vol d'essai sont nécessaires pour traiter tous les points de vols.

[0084] Un profil de vol d'essai est illustré sur la [Fig.2].

[0085] Ce profil de vol d'essai comprend une succession d'étapes de vol à respecter par l'aéronef lors du vol d'essai.

[0086] Chaque étape de vol est associée de manière unique à un point de vol de la liste de points de vol.

[0087] Dans la succession d'étapes de vol, les étapes de vol sont ordonnées de sorte que l'aéronef est destiné à respecter chaque étape de vol successivement dans l'ordre déterminé. En d'autres termes, l'aéronef est destiné à respecter chaque étape de vol dans l'ordre chronologique déterminé dans le profil de vol d'essai.

[0088] L'aéronef est destiné, lors de chaque étape de vol, à respecter les contraintes opérationnelles associées pendant une temporisation au moins égale à une durée prédéterminée. Cette durée prédéterminée est notamment comprise entre 2 minutes et 3

minutes. La durée prédéterminée est suffisamment grande pour, par exemple, permettre de mesurée de manière fiable et précise la poussée engendrée par le groupe propulseur de l'aéronef et de résoudre les équations de la mécanique du vol avec des paramètres stabilisés.

[0089] Lors d'une étape de vol, associée à un point de vol, l'aéronef est destiné à respecter les contraintes opérationnelles dudit point de vol pendant la temporisation. On dit alors que l'aéronef est en « palier » pendant l'étape de vol.

[0090] Dans l'exemple de la [Fig.2], le profil de vol d'essai est sous la forme d'un tableau de données dont chaque colonne correspond à une information de vol et dont chaque ligne correspond à une étape de vol.

[0091] Pour chaque ligne, c'est-à-dire pour chaque étape de vol, les informations de vol comprennent :

[0092] - une référence de l'étape de vol (« Référence du palier ») ;

[0093] - un nombre de mesures (« Nombre de points traités ») correspondant au nombre de mesures effectuées lors de l'étape de vol correspondante (ce nombre correspond notamment au nombre de phases stabilisées à enchaîner) ;

[0094] - la contrainte opérationnelle pour l'altitude (« ZPS palier SPEC ») du point de vol associé, exprimée en pieds ;

[0095] - une valeur d'altitude proposée pour respecter la contrainte opérationnelle pour l'altitude (« ZPS palier proposée »), exprimée en pieds ;

[0096] - la contrainte opérationnelle pour la vitesse (« MACH palier SPEC ») du point de vol associé, exprimée en nombre de Mach ;

[0097] - une contrainte opérationnelle pour le centrage de l'aéronef (« CGE, CGE_REF=25 »), exprimée en pourcents de CMA ;

[0098] - la contrainte opérationnelle pour la masse (« Masse palier SPEC ») du point de vol associé, exprimée en livres ;

[0099] - un temps de vol jusqu'au début de l'étape de vol (« Temps de vol début palier »), exprimé en minutes, correspondant au temps entre le début du vol d'essai et le début de l'étape de vol ;

[0100] - un temps total en étape de vol (« Temps total en palier ») exprimé en minutes, correspondant à la durée de l'étape de vol. Ce temps comprend notamment le temps de stabilisation et le temps de mesure ;

[0101] - un temps d'attente (« Temps d'attente ») exprimé en minutes, correspondant à la durée nécessaire à partir du début de l'étape de vol pour que l'aéronef atteignent des conditions dans lesquelles les mesures doivent être prises ;

[0102] - une masse moyenne de l'aéronef à la première mesure (« Masse moyenne 1ère mesure »), exprimée en livres, correspondant à la masse effective de l'aéronef lors de la première mesure ;

[0103] - un écart de masse à la contrainte opérationnelle pour la masse (« Delta de masse »), exprimé en livres, correspondant à la différence de masse entre la masse moyenne de l'aéronef à la première mesure et la contrainte opérationnelle pour la masse ;

[0104] - les tolérances supérieure et inférieure de masse du point de vol associé (« Tolérance supérieure », « Tolérance inférieure »), exprimées en livres ;

[0105] - la masse de l'aéronef en fin d'étape de vol (« Masse fin de palier »), exprimée en livres) ; et

[0106] - le débit massique de carburant consommé en début d'étape de vol (« Fuel flow Début palier »), exprimé en livres par heure. Le débit massique de carburant consommé en début d'étape de vol est par exemple communiqué au(x) pilote(s) par pré-affichage rapide pour qu'ils prennent connaissance du régime moteur correspondant à l'étape de vol.

[0107] Le profil de vol d'essai est destiné à être consulté par l'équipage de l'aéronef et/ou par une équipe d'ingénieurs d'essais pour la préparation du vol d'essai. Le profil de vol d'essai permet à l'équipage d'anticiper les étapes de vol en amont du vol ou pendant le vol. L'équipage est en outre apte à modifier le profil de vol d'essai avant le vol ou durant le vol à l'aide du système de détermination 10 selon l'invention, comme on le verra plus bas.

[0108] Ainsi, à la lecture du profil de vol d'essai, l'équipage prend connaissance de la succession d'étapes de vol à effectuer. Dans l'exemple de la [Fig.2], la première étape de vol correspond à l'étape de vol de référence « 06.CRZ.78 ». La deuxième étape de vol correspond à l'étape de vol de référence « 06.CRZ.6 ».

[0109] Les points ainsi définis peuvent être utilisés pour être saisis dans un directeur de vol (Flight Management System) de l'aéronef en vue de guider l'aéronef sur une trajectoire suivant le profil de vol d'essai. En variante, l'équipage pilote manuellement l'aéronef pour exécuter la trajectoire suivant le profil de vol d'essai.

[0110] Dans ce qui suit, on décrit la détermination d'au moins un profil de vol d'essai à partir d'une liste de points de vol donnés.

[0111] Un système 10 selon l'invention, de détermination d'un profil de vol d'essai d'un aéronef pour la réalisation d'une compagne d'essai en vol de l'aéronef, à partir de la liste de points de vol donnés, est illustré schématiquement sur la [Fig.3].

[0112] Le système 10 est, par exemple, installé dans une station au sol apte à communiquer avec l'aéronef.

[0113] En référence à la [Fig.3], le système 10 comprend, par exemple, une unité 12 d'acquisition de la liste de points de vol et une unité 14 de restitution d'un profil de vol d'essai.

[0114] Comme illustré sur la [Fig.3], le système 10 comprend, en outre une unité 16 de détermination du profil de vol d'essai de l'aéronef à partir de la liste de points de vol

donnés, avantageusement connectée à l'unité d'acquisition 12 et à l'unité de restitution 14.

[0115] L'unité d'acquisition 12 est configurée pour recevoir ou pour engendrer la liste de points de vol sous la forme d'un fichier électronique. L'unité d'acquisition 12 est, par exemple, un périphérique d'entrée, tel qu'un lecteur de support informatique, et est apte à lire un support informatique comportant la liste de points de vol donnés. En variante l'unité d'acquisition comporte un clavier de saisie. L'unité d'acquisition 12 est en outre configurée pour transmettre la liste de points de vol donnés à l'unité de détermination 16.

[0116] L'unité de restitution 14 est configurée pour restituer le profil de vol d'essai sous la forme d'un fichier électronique et/ou sous la forme d'un affichage à destination d'un opérateur. L'unité de restitution 14 est, par exemple, un périphérique de sortie, tel qu'un écran, et est apte à restituer le profil de vol d'essai sous une forme tangible pour l'opérateur. L'unité de restitution 14 est notamment configurée pour recevoir le profil de vol d'essai depuis l'unité de détermination 16.

[0117] L'unité de détermination 16 comprend au moins un processeur 22 et une mémoire 24 contenant des modules logiciels propres à être exécutés par le processeur 22.

[0118] Comme il sera détaillé ci-dessous, l'unité de détermination 16 est configurée pour déterminer un premier point de vol à associer à une première étape de vol du profil de vol d'essai et pour déterminer pour une étape de vol donnée associée à un point de vol donné, un point de vol subséquent pour une étape de vol subséquente parmi les points de vol non encore associés à une étape de vol, sur la base du respect d'au moins un premier critère.

[0119] Avantageusement, l'unité de détermination 16 est configurée pour déterminer le point de vol subséquent sur la base du respect d'au moins un deuxième critère.

[0120] Encore avantageusement, l'unité de détermination 16 est configurée pour déterminer le point de vol subséquent sur la base du respect d'au moins un troisième critère.

[0121] Encore avantageusement, l'unité de détermination 16 est configurée pour déterminer le point de vol subséquent sur la base du respect d'au moins un quatrième critère.

[0122] Encore avantageusement, l'unité de détermination 16 est configurée pour déterminer le point de vol subséquent sur la base du respect d'au moins un cinquième critère.

[0123] Le premier critère est que la variation d'une grandeur déterminante soit minimale entre le point de vol donné et le point de vol subséquent. La grandeur déterminante est avantageusement définie en fonction de la contrainte opérationnelle pour la vitesse de l'aéronef et/ou de la contrainte opérationnelle pour l'altitude de l'aéronef.

[0124] Dans un premier exemple, la grandeur déterminante est une hauteur totale H_{TOT} définie par l'équation suivante :

[0125] $$H_{TOT} = \frac{v^2}{2g} + h$$

[0126] où v est la contrainte opérationnelle pour la vitesse de l'aéronef, g est l'accélération de la pesanteur et h est la contrainte opérationnelle pour l'altitude de l'aéronef.

[0127] En particulier, l'unité de détermination 16 est configurée pour déterminer le premier point de vol, parmi la liste de points de vol, en fonction d'une étape de vol initiale, correspondant au début du vol d'essai, lors de laquelle l'aéronef présente des paramètres de vol initiaux correspondant à un point de vol initial, de sorte que la variation de la grandeur déterminante soit minimale entre le point de vol initial et le premier point de vol.

[0128] Notamment, l'unité de détermination 16 est configurée pour déterminer le premier point de vol parmi les points de vol comprenant une contrainte opérationnelle pour la masse élevée. En effet, la masse initiale de l'aéronef est la masse la plus élevée que peut avoir l'aéronef lors du vol d'essai. L'unité de détermination 16 est donc configurée pour déterminer parmi les points de vol de la liste de points de vol, les points de vol ayant une contrainte opérationnelle pour la masse dont la différence avec la masse initiale de l'aéronef est la plus réduite.

[0129] Le deuxième critère est que la valeur minimale de contrainte de masse du point de vol subséquent soit inférieure ou égale à la valeur de masse au point de vol donné. La valeur de masse au point de vol donné correspond à la valeur de masse que l'aéronef a ou aura au point de vol donné. La valeur de masse au point de vol donné est par exemple calculée en amont du vol . En effet, la masse de l'aéronef est un paramètre de vol qui évolue en permanence de manière décroissante au cours du vol d'essai (cela est dû notamment à la consommation de carburant au cours du vol d'essai).

[0130] Le troisième critère est que l'intervalle de tolérance de masse du point de vol subséquent présente une intersection non-vide avec l'intervalle de tolérance de masse du point de vol donné. En d'autres termes, la contrainte opérationnelle pour la masse du point de vol subséquent doit être proche de la contrainte opérationnelle pour la masse du point de vol donné.

[0131] Le quatrième critère est qu'un temps d'attente, correspondant au temps nécessaire pour qu'une valeur moyenne de la masse de l'aéronef sur une temporisation passe d'une valeur donnée correspondant à l'étape de vol donnée à une valeur comprise dans l'intervalle de tolérance de masse du point de vol subséquent, soit inférieur à un temps d'attente maximum. Le temps d'attente maximum est, par exemple, compris entre 15 min et 45 minutes, de préférence sensiblement égal à 30 minutes. En effet, pour atteindre une valeur comprise dans l'intervalle de tolérance de masse du point de vol subséquent, l'aéronef doit perdre une certaine masse, notamment en consommant du carburant. Or, la consommation de carburant représente une certaine perte de masse par unité de temps qui est limitée. Une certaine durée peut donc être nécessaire pour que la valeur de la masse de l'aéronef soit une valeur comprise dans l'intervalle de

tolérance de masse du point de vol subséquent. Il est souhaité que cette durée soit inférieure à un temps d'attente maximum.

[0132] Le cinquième critère est que la valeur moyenne de la masse de l'aéronef sur une temporisation lors de l'étape de vol subséquente soit comprise dans l'intervalle de tolérance de masse du point de vol subséquent. Comme explicité ci-dessus, lors du vol d'essai, la masse de l'aéronef diminue en permanence à cause de la consommation de carburant. Il est donc nécessaire de vérifier que la valeur moyenne de la masse de l'aéronef reste dans l'intervalle de tolérance de masse du point de vol subséquent lors de l'étape de vol subséquente.

[0133] Selon un exemple particulier, l'unité de détermination 16 est configurée de sorte que si aucun point de vol non encore associé à une étape de vol ne respecte le troisième critère, alors l'unité de détermination 16 calcule des points de vol complémentaires modifiés issus de points de vol complémentaires respectant les premier et deuxième critères non encore associés à une étape de vol. Chaque point de vol complémentaire modifié comprend alors un intervalle de tolérance de masse modifié obtenu par modification de la contrainte opérationnelle pour l'altitude dans l'intervalle de modification d'altitude correspondant. L'unité de détermination 16 est alors configurée pour déterminer le point de vol subséquent parmi les points de vol complémentaire modifiés, sur la base du respect du troisième critère appliqué aux points de vol complémentaire modifiés.

[0134] Avantageusement, l'unité de détermination 16 est en outre configurée de sorte que si aucun point de vol non encore associé à une étape de vol ne respecte le cinquième critère, alors l'unité de détermination 16 calcule des points de vol complémentaires modifiés issus de points de vol complémentaires respectant les premier, deuxième, troisième et quatrième critères non encore associés à une étape de vol. Chaque point de vol complémentaire modifié comprend alors un intervalle de tolérance de masse modifié obtenu par modification de la contrainte opérationnelle pour l'altitude dans l'intervalle de modification d'altitude correspondant. L'unité de détermination 16 est alors configurée pour déterminer le point de vol subséquent parmi les points de vol complémentaire modifiés, sur la base du respect du cinquième critère appliqué aux points de vol complémentaire modifiés.

[0135] La mémoire 24 de l'unité de détermination comprend un module 30 de stockage de la liste de points de vol. Le module 30 est notamment configuré pour recevoir la liste de points de vol depuis l'unité 12 d'acquisition de la liste de point de vol et est configuré pour stocker la liste de points de vol.

[0136] La mémoire 24 comprend avantageusement un module 32 de détermination du profil de vol. Notamment, le module de détermination 32 est configuré pour déterminer le premier point de vol à associer à la première étape de vol du profil de vol d'essai et,

pour chaque étape de vol donnée associée à un point de vol donnée, le point de vol subséquent d'une étape de vol subséquente.

[0137] Le module 32 comprend, par exemple, un premier sous-module 34 de vérification du premier critère, un deuxième sous-module 36 de vérification du deuxième critère, un troisième sous-module 38 de vérification du troisième critère, un quatrième sous-module 40 de vérification du quatrième critère et un cinquième sous-module 42 de vérification du cinquième critère. En variante, les premier, deuxième, troisième, quatrième et cinquième sous-modules de vérifications 34, 36, 38, 40 et 42 sont confondus.

[0138] Avantageusement, lors de la détermination du point de vol à associer à une étape de vol, au moins un point de vol de la liste de points de vol stockée dans le module 30 est traité par le module 32, notamment par le premier sous-module 34, le deuxième sous-module 36, le troisième sous-module 38, le quatrième sous-module 40 et/ou le cinquième sous-module 42.

[0139] Encore avantageusement, le module 32 comprend un module 44 de stockage du profil de vol d'essai déterminé, configurée pour stocker les associations d'étapes de vol et de points de vol. Le module 44 est par exemple connecté à l'unité de restitution 14.

[0140] Dans ce qui suit, on décrit un procédé 100 de détermination d'au moins un profil de vol d'essai optimisé d'un aéronef pour la réalisation d'une campagne d'essai en vol de l'aéronef, à partir de la liste de points de vol à atteindre durant la campagne d'essai en vol, le procédé 100 étant mise en œuvre par le système 10 de détermination du profil de vol d'essai de l'aéronef.

[0141] Le procédé 100 est décrit en référence à la [Fig.4].

[0142] En particulier, la [Fig.4] illustre un ordinogramme illustrant plusieurs exemples de mise en œuvre du procédé selon l'invention.

[0143] Initialement, le procédé comprend l'acquisition 102 par l'unité d'acquisition 14 de la liste de points de vol.

[0144] Le procédé comprend ensuite la détermination 104 d'un premier point de vol associé à une première étape de vol du profil de vol d'essai. Avantageusement, le premier point de vol est déterminé en fonction d'une étape de vol initiale, correspondant au début du vol d'essai, lors de laquelle l'aéronef présente des paramètres de vol initiaux correspondant à un point de vol initial, de sorte que la variation de la grandeur déterminante soit minimale entre le point de vol initial et le premier point de vol. En particulier, le premier point de vol est déterminé parmi les points de vol comprenant une contrainte opérationnelle pour la masse élevée.

[0145] Avantageusement, le procédé comprend ensuite la prise en compte 106 d'une phase de transition nécessaire à l'aéronef pour être dans un état dans lequel les contraintes opérationnelles pour chacun des paramètres de vol du premier point de vol sont

respectées.

[0146] Encore avantageusement, le procédé comprend ensuite la prise en compte 108 d'une phase de mesure des performances de l'aéronef.

[0147] Comme il sera détaillé ci-dessous, le procédé comprend, pour chaque étape de vol donnée associée à un point de vol donné, la détermination, pour une étape de vol subséquente, d'un point de vol subséquent parmi les points de vol non encore associés à une étape de vol, la détermination du point de vol subséquent étant basé sur le respect d'au moins le premier critère.

[0148] Avantageusement, la détermination du point de vol subséquent est, en outre, basée sur le respect d'au moins le deuxième critère.

[0149] Encore avantageusement, la détermination du point de vol subséquent est, en outre, basée sur le respect d'au moins le troisième critère.

[0150] Encore avantageusement, la détermination du point de vol subséquent est, en outre, basée sur le respect d'au moins le quatrième critère.

[0151] Encore avantageusement, la détermination du point de vol subséquent est, en outre, basée sur le respect d'au moins le cinquième critère.

[0152] Dans la suite de la description, on considère qu'un point de vol donné est déterminé pour une étape de vol donnée et que l'on cherche à déterminer, pour une étape de vol subséquente, un point de vol subséquent.

[0153] Comme mentionné ci-dessus, la détermination du point de vol subséquent est basée sur le respect d'au moins le premier critère. En d'autres termes, pour l'étape de vol donnée, on détermine parmi les points de vol non encore associés à une étape de vol, le point de vol pour lequel la variation de la grandeur déterminante est minimale. Avantageusement, le point de vol pour lequel la variation de la grandeur déterminante est minimale est considéré comme étant un point de vol subséquent candidat. Par exemple, le point de vol subséquent candidat est déterminé par le premier sous-module 34 de vérification du premier critère parmi les points de vol non encore associés à une étape de vol, stockés dans le module de stockage 30.

[0154] Avantageusement, lors d'une étape suivante, il est vérifié que le point de vol subséquent candidat respecte le deuxième critère de contrainte de masse. Par exemple, la vérification du respect du deuxième critère par le point de vol subséquent candidat est effectuée par le deuxième sous-module 36 de vérification du deuxième critère.

[0155] Si le point de vol subséquent candidat respecte le deuxième critère alors la prochaine étape du procédé est une étape 110. Si le point de vol subséquent candidat ne respecte pas le deuxième critère alors le point de vol subséquent candidat est remplacé par un autre point de vol subséquent candidat choisi parmi les points de vol non encore associés à une étape de vol et non encore testés vis-à-vis du deuxième critère et pour lequel la variation de la grandeur déterminante est minimale. Si le remplacement du

point de vol subséquent candidat n'est pas possible, par exemple lorsqu'il n'existe pas d'autre point de vol subséquent non encore associé à une étape de vol et non encore testé vis-à-vis du deuxième critère, alors l'étape de vol subséquente est une fin du vol d'essai.

[0156] Lors de l'étape 110, il est vérifié que le point de vol subséquent candidat respecte le troisième critère d'intersection non-vide d'intervalles de tolérance de masse. Par exemple, la vérification du respect du troisième critère par le point de vol subséquent candidat est effectuée par le troisième sous-module 38 de vérification du troisième critère.

[0157] Si le troisième critère est respecté par le point de vol subséquent candidat (condition 110A), le procédé se poursuit selon un premier exemple de mise en œuvre et l'étape suivante du procédé est une étape 114.

[0158] Si le point de vol subséquent candidat ne respecte pas le troisième critère alors le point de vol subséquent candidat est remplacé par un autre point de vol subséquent :

[0159] - non encore associé à une étape de vol ;

[0160] - respectant les premier et deuxième critères ; et

[0161] - non encore testé vis-à-vis du troisième critère.

[0162] Si le point de vol subséquent candidat respecte le troisième critère (condition 110A), le procédé se poursuit selon le premier exemple de mise en œuvre et l'étape suivante du procédé est l'étape 114.

[0163] Si le remplacement du point de vol subséquent candidat n'est pas possible (condition 110B), par exemple lorsqu'il n'existe pas d'autre point de vol subséquent non encore associé à une étape de vol, respectant les premier et deuxième critères et non encore testé vis-à-vis du troisième critère, le procédé se poursuit selon un deuxième exemple de mise en œuvre décrit ultérieurement et l'étape suivante du procédé est une étape 214.

[0164] On décrit le premier exemple de mise en œuvre du procédé.

[0165] On considère alors que le point de vol subséquent candidat respecte le troisième critère (condition 110A). L'étape 114 correspond à une prise en compte d'une phase de transition nécessaire à l'aéronef pour être dans l'état dans lequel les contraintes opérationnelles pour chacun des paramètres du point de vol subséquent candidat sont respectés.

[0166] Avantageusement, lors d'une étape 116 suivant l'étape 114, il est vérifié que le point de vol subséquent candidat respecte le quatrième critère de temps d'attente. Notamment, le temps d'attente, correspondant au temps nécessaire pour qu'une valeur moyenne de la masse de l'aéronef sur une temporisation passe d'une valeur donnée correspondant à l'étape de vol donnée à une valeur comprise dans l'intervalle de tolérance de masse du point de vol subséquent candidat, est alors calculé. Par exemple,

la valeur donnée de la moyenne de la masse de l'aéronef sur une temporisation lors de l'étape de vol donnée est estimée en amont du vol. Ainsi, lors de l'étape 116, il est vérifié si le temps d'attente entre l'étape de vol donnée et le point de vol subséquent candidat est inférieur au temps d'attente maximum. Par exemple, la vérification du respect du quatrième critère par le point de vol subséquent candidat est effectuée par le quatrième sous-module 40 de vérification du quatrième critère.

[0167] Si le quatrième critère est respecté par le point de vol subséquent candidat (condition 116A), l'étape suivante du procédé est une étape 118.

[0168] Si le point de vol subséquent candidat ne respecte pas le quatrième critère alors le point de vol subséquent candidat est remplacé par un autre point de vol subséquent (condition 116B) :

[0169] - non encore associé à une étape de vol ;

[0170] - respectant les premier, deuxième et troisième critères ; et

[0171] - non encore testé vis-à-vis du quatrième critère.

[0172] Si le point de vol subséquent candidat respecte le quatrième critère (condition 116A), le procédé se poursuit jusqu'à l'étape 118.

[0173] Si le remplacement du point de vol subséquent candidat n'est pas possible (condition 116C), par exemple lorsqu'il n'existe pas d'autre point de vol subséquent non encore associé à une étape de vol, respectant les premier, deuxième et troisième critères et non encore testé vis-à-vis du quatrième critère, l'étape 116 est alors suivie par l'étape 214 du deuxième exemple de mise en œuvre qui sera décrite ultérieurement.

[0174] Lorsque le quatrième critère est respecté par le point de vol subséquent candidat (condition 116A), il est vérifié, lors de l'étape 118, que le point de vol subséquent candidat respecte le cinquième critère de valeur de masse moyenne de l'aéronef sur une temporisation. Notamment, la valeur moyenne de la masse de l'aéronef sur une temporisation lors de l'étape de vol subséquente candidate est calculée. Lors de l'étape 118, il est vérifié si la valeur moyenne de la masse de l'aéronef sur une temporisation lors de l'étape de vol subséquente candidate est comprise dans l'intervalle de tolérance de masse du point de vol subséquent candidat. Par exemple, la vérification du respect du cinquième critère par le point de vol subséquent candidat est effectué par le cinquième sous-module 42 de vérification du cinquième critère.

[0175] Si le cinquième critère est respecté par le point de vol subséquent candidat (condition 118A), l'étape suivante correspond à la prise en compte 108 d'une phase de mesure des performances de l'aéronef au point de vol subséquent candidat.

[0176] Si le point de vol subséquent candidat ne respecte pas le cinquième critère alors le point de vol subséquent candidat est remplacé par un autre point de vol subséquent (condition 118B) :

[0177] - non encore associé à une étape de vol ;

[0178] - respectant les premier, deuxième, troisième et quatrième critères ; et

[0179] - non encore testé vis-à-vis du cinquième critère.

[0180] Si le point de vol subséquent candidat respecte le cinquième critère (condition 118A), le point de vol subséquent candidat devient le point de vol subséquent et est associé à l'étape de vol subséquente. L'association entre le point de vol subséquent et l'étape de vol subséquente est enregistrée dans le module de stockage 44. L'étape suivant correspond alors à la prise en compte 108 d'une phase de mesure des performances de l'aéronef au point de vol subséquent ainsi déterminé.

[0181] Si le remplacement du point de vol subséquent candidat n'est pas possible, par exemple lorsqu'il n'existe pas d'autre point de vol subséquent non encore associé à une étape de vol, respectant les premier, deuxième, troisième et quatrième critères et non encore testé vis-à-vis du cinquième critère, le procédé se poursuit à l'étape 214 du deuxième exemple de mise en œuvre décrit ci-dessous.

[0182] On décrit désormais le deuxième exemple de mise en œuvre du procédé.

[0183] Il est à nouveau fait référence à l'étape 110 lors de laquelle il est vérifié que le point de vol subséquent candidat respecte le troisième critère.

[0184] On considère alors que le point de vol subséquent candidat ne respecte pas le troisième critère et que le remplacement du point de vol subséquent candidat par un autre point de vol subséquent non encore associé à une étape de vol, respectant les premier et deuxième critères et non encore testé vis-à-vis du troisième critère, n'est pas possible (condition 110B).

[0185] Comme mentionné ci-dessus, l'étape suivante du procédé est alors l'étape 214.

[0186] L'étape 214 correspond à une étape de calcul de points de vol complémentaires modifiés issus de points de vol complémentaires respectant les premier et deuxième critères non encore associés à une étape de vol. Chaque point de vol complémentaire modifié comprend un intervalle de tolérance de masse modifié obtenu par modification de la contrainte opérationnelle pour l'altitude dans l'intervalle de modification de la contrainte opérationnelle pour l'altitude correspondant. La détermination du point de vol subséquent est alors effectuée parmi les points de vol complémentaires modifiés et est basée sur le respect du troisième critère appliqué aux points de vol complémentaire modifiés.

[0187] Le point de vol subséquent candidat est ainsi remplacé par un autre point de vol subséquent :

[0188] - choisi parmi les points de vol complémentaires modifiés ;

[0189] - non encore associé à une étape de vol ; et

[0190] - respectant les premier, deuxième et troisième critères.

[0191] Une condition 214A est alors respectée (remplacement possible du point de vol subséquent candidat) et l'étape suivante du procédé est alors une étape 216.

[0192] Si le remplacement du point de vol subséquent candidat n'est pas possible (condition 214B), par exemple lorsqu'il n'existe pas d'autre point de vol subséquent choisi parmi les points de vol complémentaires modifiées, non encore associé à une étape de vol et respectant les premier, deuxième et troisième critères alors l'étape de vol subséquente est une fin du vol d'essai. Alors, lors d'une étape 300 du procédé, l'étape de vol subséquente à associée à la fin du vol d'essai.

[0193] L'étape 216 correspond à une prise en compte d'une phase de transition nécessaire à l'aéronef pour être dans l'état dans lequel les contraintes opérationnelles pour chacun des paramètres du point de vol subséquent candidat sont respectés.

[0194] Avantageusement, lors d'une étape 218 suivant l'étape 216, il est vérifié que le point de vol subséquent candidat respecte le quatrième critère de temps d'attente.

[0195] Si le quatrième critère est respecté par le point de vol subséquent candidat, l'étape suivante du procédé est une étape de vérification du respect du cinquième critère par le point de vol subséquent candidat.

[0196] Si le point de vol subséquent candidat ne respecte pas le quatrième critère alors le point de vol subséquent candidat est remplacé par un autre point de vol subséquent :

[0197] - choisi parmi les points de vol complémentaires modifiés ;

[0198] - non encore associé à une étape de vol ;

[0199] - respectant les premier, deuxième et troisième critères ; et

[0200] - non encore testé vis-à-vis du quatrième critère.

[0201] Si le point de vol subséquent candidat respecte alors le quatrième critère, le procédé se poursuit jusqu'à l'étape de vérification du respect du cinquième critère de valeur de masse moyenne de l'aéronef sur une temporisation par le point de vol subséquent candidat.

[0202] Si le remplacement du point de vol subséquent candidat n'est pas possible, par exemple lorsqu'il n'existe pas d'autre point de vol subséquent parmi les points de vol complémentaires modifiés, non encore associé à une étape de vol, respectant les premier, deuxième et troisième critères et non encore testé vis-à-vis du quatrième critère, l'étape de vol subséquente est une fin du vol d'essai associé à ce profil de vol d'essai.

[0203] S'il reste encore des points de vol candidats, alors au moins un nouveau profil de vol d'essai est déterminé sur la base des points restants, comme décrit précédemment.

[0204] Lorsque le quatrième critère est respecté par le point de vol subséquent candidat, il est vérifié, que le point de vol subséquent candidat respecte le cinquième critère.

[0205] Si le cinquième critère est respecté par le point de vol subséquent candidat (condition 218A), Le point de vol subséquent candidat devient le point de vol subséquent et est associé à l'étape de vol subséquente. L'association entre le point de vol subséquent et l'étape de vol subséquente est enregistrée dans le module de stockage 44. L'étape

suivante correspond alors à la prise en compte 108 d'une phase de mesure des performances de l'aéronef au point de vol subséquent candidat.

[0206] Si le point de vol subséquent candidat ne respecte pas le cinquième critère alors le point de vol subséquent candidat est remplacé par un autre point de vol subséquent :

[0207] - choisi parmi les points de vol complémentaires modifiés ;

[0208] - non encore associé à une étape de vol ;

[0209] - respectant les premier, deuxième, troisième et quatrième critères ; et

[0210] - non encore testé vis-à-vis du cinquième critère.

[0211] L'existence d'un tel point de vol subséquent est illustré par la condition 218B sur la [Fig.4]. Si le point de vol subséquent candidat respecte alors le cinquième critère, le point de vol subséquent candidat devient le point de vol subséquent et est associé à l'étape de vol subséquente. L'étape suivant correspond alors à la prise en compte 108 d'une phase de mesure des performances de l'aéronef au point de vol subséquent ainsi déterminé.

[0212] Si le remplacement du point de vol subséquent candidat n'est pas possible, par exemple lorsqu'il n'existe pas d'autre point de vol subséquent choisi parmi les points de vol complémentaires modifiés, non encore associé à une étape de vol, respectant les premier, deuxième et troisième critères et non encore testé vis-à-vis du quatrième critère, l'étape de vol subséquente est une fin du vol d'essai associé à ce profil de vol d'essai.

[0213] S'il reste encore des points de vol candidats, alors au moins un nouveau profil de vol d'essai est déterminé sur la base des points restants, comme décrit précédemment.

[0214] Dans ce qui suit, on décrit des exemples de mise en œuvre du procédé 100 en référence aux figures 5 à 8. Les figures 5 à 8 illustrent des représentations schématiques aidant à la compréhension du procédé de détermination du profil de vol d'essai.

[0215] Les figures 5 à 8 illustrent des graphes ayant pour abscisse la grandeur déterminante, ici la hauteur totale H_{TOT} (exprimée en pieds), et pour ordonnée la masse de l'aéronef (exprimée en livres).

[0216] Notamment, sur les graphes des figures 5 à 8, des points masse/hauteur totale sont placés, chaque point masse/hauteur totale étant associé à au moins un point de vol d'une liste de points de vol. Chaque point masse/hauteur totale est caractérisé par une abscisse, correspondant à la grandeur déterminante associée des points de vol associés, et par une ordonnée, correspondant à la contrainte opérationnelle pour la masse de l'aéronef associée des points de vol associés.

[0217] Pour chaque point masse/hauteur totale, l'intervalle de tolérance de masse de l'au moins un point de vol associé audit point masse/hauteur totale est représenté par une barre verticale. Chaque point de vol associé à un point masse/hauteur total partagent

donc la même contrainte opérationnelle pour la masse, donc le même intervalle de tolérance de masse.

[0218] Les points masse/hauteur totale comprennent des points masse/hauteur totale de référence (illustrés par des croix), chacun associé à au moins un point de vol de référence, et des points masse/hauteur totale complémentaires (illustrés par des cercles), chacun associé à au moins un point de vol complémentaires.

[0219] Sur les figures 6 à 8, les étapes de vol sont représentées par des triangles reliés entre eux par des traits en pointillés. Pour chaque étape de vol, c'est-à-dire pour chaque triangle, l'abscisse correspond à la grandeur déterminante associée et l'ordonnée correspond à la contrainte opérationnelle pour la masse associée.

[0220] Dans ce qui suit, en référence aux figures 6 à 8, on décrit la détermination par le procédé 100 de profils de vol d'essai à partir de listes de points de vol.

[0221] En particulier, en référence à la [Fig.6], on décrit la détermination d'un premier profil de vol d'essai à partir d'une première liste de points de vol.

[0222] Sur l'exemple de la [Fig.6], plusieurs points masse/hauteur totale A1, B1, C1, ..., V1 et plusieurs étapes de vol S1_1, S1_2, ..., S1_11 du premier profil de vol d'essai déterminé par le procédé 100, sont illustrés.

[0223] Notamment, un premier point de vol, ici un point de vol du point masse/hauteur totale A1, est associée à une première étape de vol S1_1.

[0224] On considère alors le premier point de vol comme étant le point de vol donné et la première étape de vol S1_1 comme étant l'étape de vol donné et on décrit la détermination de l'étape de vol subséquente, c'est-à-dire l'étape de vol S1_2.

[0225] Sur l'exemple de la [Fig.6], le point masse/hauteur totale pour lequel la variation de la grandeur déterminante (en d'autres termes, la variation de la hauteur totale H_{TOT}) est minimale relativement au point de vol donné (représenté par le point masse/hauteur totale A1) est le point masse/hauteur totale Q1 (la variation de grandeur déterminante correspondante est référencée $\Delta H_{TOT\text{-}A1Q1}$ sur la [Fig.6]). L'au moins un point de vol associé au point masse/hauteur totale Q1 est alors considéré comme étant le point de vol subséquent candidat puisque cet au moins un point de vol respecte le premier critère.

[0226] Sur l'exemple de la [Fig.6], le point de vol subséquent candidat respecte bien le deuxième critère, puisque la valeur minimale de contrainte de masse du point masse/hauteur totale Q1 (environ 66 000 livres) est inférieure à la valeur de masse au point masse/hauteur totale A1 (environ 72 750 livres). Le point de vol subséquent candidat reste alors inchangé.

[0227] Sur l'exemple de la [Fig.6], le point de vol subséquent candidat respecte bien le troisième critère (vérification correspondant à l'étape 110 du procédé ; condition 110A respectée), puisque l'intervalle de tolérance de masse du point masse/hauteur totale Q1

(correspondant à environ [66 000 ; 70 000] livres) présente une intersection non-vide avec l'intervalle de tolérance de masse du masse/hauteur totale A1 (correspondant à environ [69 000 ; 73 000] livres). Le point de vol subséquent candidat reste alors inchangé.

[0228] Sur l'exemple de la [Fig.6], le point de vol subséquent candidat ne respecte pas le quatrième critère (vérification correspondant à l'étape 116 du procédé). Comme illustré sur la [Fig.5], la différence de masse entre l'étape de vol S1_1 (environ 72 750 livres) et la limite supérieure de la tolérance de masse du point masse/hauteur totale Q1 (environ 70 000 livres) est d'environ 2 750 livres. Cela correspond à une quantité significative de carburant à consommer par l'aéronef. Ici, le temps d'attente entre l'étape de vol S1_1 et le point de vol subséquent candidat est considéré comme étant supérieure au temps d'attente maximum.

[0229] Le point de vol subséquent candidat est alors remplacé par au moins un point de vol associé au point masse/hauteur totale B1 (condition 116B). En effet, le point masse/hauteur totale :

[0230] - dont au moins un point de vol n'est pas encore associé à une étape de vol ;

[0231] - respectant les premier, deuxième et troisième critères ;

[0232] - non encore testé vis-à-vis du quatrième critère ;

[0233] est le point masse/hauteur totale B1 (la variation de grandeur déterminante correspondante est référencée $\Delta H_{TOT\text{-}A1B1}$ sur la [Fig.6]).

[0234] Sur l'exemple de la [Fig.6], au moins un point de vol du point masse/hauteur totale B1 respecte les premier, deuxième, troisième, quatrième et cinquième critères. Ledit au moins un point de vol du point masse/hauteur totale B1 est donc déterminé comme étant le point de vol subséquent. L'étape de vol S1_2 est donc associée au dit point de vol du point masse/hauteur totale B1.

[0235] Toujours en référence à la [Fig.6], on considère désormais que le point de vol donné est un point de vol du point masse/hauteur totale E1 et l'étape de vol donnée est la sixième étape de vol S1_6. On décrit alors la détermination de l'étape de vol subséquente, c'est-à-dire la sixième étape de vol S1_7.

[0236] Sur l'exemple de la [Fig.6], le point de vol subséquent candidat est un point de vol associé au point masse/hauteur totale F1 puisqu'un tel point de vol est un point de vol non encore associé à une étape de vol, respectant le premier critère.

[0237] Toutefois, sur l'exemple de la [Fig.6], le point de vol subséquent candidat ne respecte pas le cinquième critère. Il est considéré sur la [Fig.6] que la valeur moyenne de la masse de l'aéronef sur une temporisation lors de l'étape de vol subséquent candidat n'est pas comprise dans l'intervalle de tolérance de masse du point de vol subséquent candidat. En particulier, ici, il est considéré que la valeur moyenne de la masse de l'aéronef sur une temporisation lors de l'étape de vol subséquent est inférieure à 69

000 livres (ce qui correspond à la borne inférieure de l'intervalle de tolérance de masse associée au point masse/hauteur totale F1).

[0238] Le point de vol subséquent candidat est alors successivement remplacé par des points de vol associés aux points masse/hauteur totale G1, H1, I1. En effet, ces points de vol sont :

[0239] - non encore associés à une étape de vol ;

[0240] - respectant les premier, deuxième, troisième et quatrième critères ; et

[0241] - non encore testés vis-à-vis du cinquième critère.

[0242] Toutefois, ces points de vol ne respectent pas le cinquième critère.

[0243] Le point de vol subséquent candidat est alors remplacé par un point de vol associé au point masse/hauteur totale Q1, ce point de vol étant :

[0244] - non encore associé à une étape de vol ;

[0245] - respectant les premier, deuxième, troisième et quatrième critères ; et

[0246] - non encore testé vis-à-vis du cinquième critère.

[0247] Sur l'exemple de la [Fig.6], le point de vol associé au point masse/hauteur totale Q1 respecte les premier, deuxième, troisième, quatrième et cinquième critères. Ledit point de vol du point masse/hauteur totale Q1 est donc déterminé comme étant le point de vol subséquent. L'étape de vol S1_7 est donc associée au dit point de vol du point masse/hauteur totale Q1.

[0248] En référence à la [Fig.7], on décrit la détermination d'un deuxième profil de vol d'essai, successif au premier profil de vol d'essai, à partir de la première liste de points de vol.

[0249] Sur l'exemple de la [Fig.7], en comparaison à la [Fig.6], les points masse/hauteur totale A1, B1, C1, D1, E1, Q1, S1, T1 dont les points de vol ont été associés à des étapes de vol S1_1, S1_2, …, S1_11 ont été supprimés. Plusieurs étapes de vol S2_1, S2_2, …, S2_7 du deuxième profil de vol d'essai déterminé par le procédé 100 sont illustrés.

[0250] Notamment, un premier point de vol, ici un point de vol du point masse/hauteur totale F1, est associée à une première étape de vol S2_1.

[0251] En référence à la [Fig.7], on considère que le point de vol donné est un point de vol du point masse/hauteur totale R1 et l'étape de vol donnée est la septième étape de vol S2_7. On décrit alors la détermination de l'étape de vol subséquente, c'est-à-dire la huitième étape de vol S2_8 (non visible sur la [Fig.7]).

[0252] Sur l'exemple de la [Fig.7], le point de vol subséquent candidat est un point de vol associé au point masse/hauteur totale V1 puisqu'un tel point de vol est un point de vol non encore associé à une étape de vol, respectant le premier critère. Un tel point de vol respecte également les deuxième et troisième critères.

[0253] Toutefois, sur l'exemple de la [Fig.7], le point de vol subséquent candidat ne respecte

pas le quatrième critère. Comme illustré sur la [Fig.6], la différence de masse Δm entre l'étape de vol S2_7 (environ 66 500 livres) et la limite supérieure de la tolérance de masse du point masse/hauteur totale V1 (environ 63 500 livres) est d'environ 3 000 livres. Cela correspond à une quantité significative de carburant à consommer par l'aéronef. Ici, le temps d'attente entre l'étape de vol S2_7 et le point de vol subséquent candidat est considéré comme étant supérieure au temps d'attente maximum.

[0254] Il est ici impossible de remplacer le point de vol subséquent candidat par un autre point de vol :

[0255] - non encore associé à une étape de vol ;

[0256] - respectant les premier, deuxième et troisième critères ; et

[0257] - non encore testé vis-à-vis du quatrième critère.

[0258] L'étape de vol subséquente est donc une fin du vol d'essai associé à ce profil de vol d'essai.

[0259] S'il reste encore des points de vol candidats, alors au moins un nouveau profil de vol d'essai est déterminé sur la base des points restants, comme décrit précédemment.

[0260] En référence à la [Fig.8], on décrit une alternative à la détermination du premier profil de vol d'essai à partir d'une deuxième liste de points de vol, qui illustre l'implémentation du deuxième exemple de mise en œuvre du procédé décrit ci-dessus.

[0261] Sur l'exemple de la [Fig.8], plusieurs points masse/hauteur totale A2, B2, C2, …, W2, plusieurs points masse/hauteur totale modifiés F2', G2', H2', I2' (associés à des points de vol complémentaires modifiés) et plusieurs étapes de vol S2_1, S2_2, S2_3, …, S2_10 sont illustrés.

[0262] En référence à la [Fig.8], on considère que le point de vol donné est un point de vol du point masse/hauteur totale E2 et l'étape de vol donnée est la sixième étape de vol S2_6. On décrit alors la détermination de l'étape de vol subséquente, c'est-à-dire la septième étape de vol S12_7.

[0263] Sur l'exemple de la [Fig.8], le point de vol subséquent candidat est un point de vol associé au point masse/hauteur totale F2 puisqu'un tel point de vol est un point de vol non encore associé à une étape de vol, respectant le premier critère. Un tel point de vol respecte également les deuxième, troisième et quatrième critères.

[0264] Toutefois, sur l'exemple de la [Fig.8], le point de vol subséquent candidat ne respecte pas le cinquième critère. Notamment, il est considéré sur la [Fig.8] que la valeur moyenne de la masse de l'aéronef sur une temporisation lors de l'étape de vol subséquent candidat n'est pas comprise dans l'intervalle de tolérance de masse du point de vol subséquent candidat. En particulier, ici, il est considéré que la valeur moyenne de la masse de l'aéronef sur une temporisation lors de l'étape de vol subséquent est inférieure à 69 000 livres (la borne inférieure de l'intervalle de tolérance de masse associée au point masse/hauteur totale F2).

[0265] Or, le point masse/hauteur totale F2 est un point masse/hauteur totale complémentaire. Alors, la contrainte opérationnelle pour l'altitude du point de vol subséquent candidat est modifiée dans l'intervalle de modification de la contrainte opérationnelle pour l'altitude correspondant pour obtenir un intervalle de tolérance de masse modifié et une contrainte opérationnelle pour la masse modifiée. Le point masse/hauteur totale F2 est alors modifié en point masse/hauteur totale F2' représentatif de la contrainte opérationnelle pour la masse modifiée et de l'intervalle de tolérance de masse modifié.

[0266] Ici, la contrainte opérationnelle pour l'altitude du point de vol subséquent candidat est augmentée (l'aéronef doit être à une altitude plus importante pour respecter la contrainte) dans la limite de l'intervalle de modification de la contrainte opérationnelle pour l'altitude. Un intervalle de tolérance de masse modifié et une contrainte opérationnelle pour la masse modifiée sont ainsi obtenue.

[0267] Dans le cas d'espèce, pour le point de vol associé au point masse/hauteur F2, la contrainte opérationnelle pour la masse est de 71 000 livres et l'intervalle de tolérance de masse est [69 000 ; 73 000] livres. Pour le point de vol modifié correspondant associé au point masse/hauteur modifié F2', la contrainte opérationnelle pour la masse modifiée est de 68 000 livres et l'intervalle de tolérance de masse modifié est [66 000 ; 70 000] livres.

[0268] Ceci découle du fait qu'à une altitude plus importante, la masse volumique de l'air est plus faible. Or le coefficient de portance de l'aéronef est proportionnel à la masse de l'aéronef et est inversement proportionnel à la masse volumique de l'air. Ainsi, le coefficient de portance associé au point masse/hauteur F2 est atteignable au point masse/hauteur modifié F2', puisqu'alors, bien que la masse de l'aéronef soit plus faible, la masse volumique de l'air est également plus faible.

[0269] Le point de vol subséquent candidat est alors remplacé par un point de vol associé au point masse/hauteur totale modifié F2' puisqu'un tel point de vol est un point de vol non encore associé à une étape de vol, respectant les premier, deuxième, troisième et quatrième critères.

[0270] Comme illustré sur la [Fig.8], le point de vol subséquent candidat respecte alors également le cinquième critère. Le point de vol subséquent candidat est donc déterminé comme étant le point de vol subséquent. L'étape de vol S2_8 est donc associé au point de vol du point masse/hauteur totale modifié F2'.

[0271] Selon une variante du mode de réalisation décrit ci-dessus, le système 10 est un système embarqué répondant aux exigences de certification de l'aéronef. Il est par exemple intégré dans l'avionique de l'aéronef.

[0272] Selon une autre variante, la valeur moyenne de la masse de l'aéronef sur une temporisation lors d'une étape de vol est mesurée lors de l'étape de vol donnée. Notamment, pour une étape donnée associée à un point de vol donné, la détermination du point de

vol subséquent, notamment le respect du quatrième critère et/ou du cinquième critère par un point de vol subséquent candidat, est modifiée sur la base de la valeur donnée de la moyenne de la masse de l'aéronef sur une temporisation lors de l'étape de vol donnée, mesurée lors de l'étape de vol donnée. Le profil de vol d'essai est alors optionnellement mis à jour pendant le vol d'essai. Dans ce cas, si le système 10 est installé au sol, le système 10 est en permanence en communication avec l'aéronef de sorte à recevoir la mesure de la valeur de la moyenne de la masse de l'aéronef.

[0273] Selon encore une autre variante, la valeur de masse au point de vol donné est mesurée lors de l'étape de vol donnée. Notamment, pour une étape donnée associée à un point de vol donné, la détermination du point de vol subséquent, notamment le respect du deuxième critère par un point de vol subséquent candidat, est modifiée sur la base de la valeur de masse au point de vol donné mesurée lors de l'étape de vol donnée. Le profil de vol d'essai est alors optionnellement mis à jour pendant le vol d'essai.

[0274] Grâce à l'invention, il est ainsi possible de déterminer de manière simple et efficace un ou plusieurs profils de vol d'essai optimisés pour réaliser une campagne d'essai en vol à partir d'une liste de points de vol.

[0275] En effet, le procédé décrit ci-dessus est automatisé. Il permet ainsi de déterminer le ou chaque profil de vol d'essai en épargnant un travail fastidieux à un opérateur et permet de réduire le risque d'erreur qui est significatif lorsque le ou chaque profil est calculé manuellement par ledit opérateur.

[0276] En outre, l'automatisation permet un gain de temps significatif en comparaison à une détermination manuelle du ou de chaque profil de vol d'essai.

[0277] Le procédé permet également d'obtenir de profils de vol précis et fiables même lorsque la liste de points de vol présente des contraintes opérationnelles précises, par exemple avec des tolérances très restreintes.

[0278] Enfin, le procédé selon l'invention offre une certaine souplesse dans la mesure où il permet la mise à jour du ou de chaque profil de vol d'essai de la campagne d'essai en vol en fonction de conditions réelles subies lors d'un vol d'essai par l'aéronef, pendant le vol d'essai.

[0279] Dans une variante, la grandeur déterminante utilisée pour la détermination du premier critère est l'énergie totale E_{TOT} définie par l'équation suivante $E_{TOT} = m.g.H_{TOT}$ ou m est une contrainte opérationnelle de masse de l'aéronef, H_{TOT} est la hauteur totale déterminée plus haut et g est l'accélération de la pesanteur.

[0280] Un autre exemple de grandeur déterminante pouvant être utilisée pour la détermination du premier critère est la contrainte opérationnelle pour l'altitude de l'aéronef.

Revendications

[Revendication 1] Procédé (100) de détermination d'au moins un profil de vol d'essai optimisé d'un aéronef pour la réalisation d'une campagne d'essai en vol de l'aéronef, à partir d'une liste de points de vol (A1, B1, C1, … ; A2, B2, C2, …) à atteindre durant la campagne d'essai en vol, le procédé étant mis en œuvre par un système (10) de détermination de profil de vol d'essai d'un aéronef pour la réalisation d'une campagne d'essai en vol de l'aéronef, chaque point de vol comprenant une contrainte opérationnelle pour chacun d'une pluralité de paramètres de vol, les paramètres de vol comprenant la vitesse, l'altitude et le coefficient de portance de l'aéronef,

le ou chaque profil de vol d'essai comprenant une succession d'étapes de vol (S1_1, S1_2, S1_3, … ; S2_1, S2_2, S2_3, …), chaque étape de vol étant associée de manière unique à un point de vol, l'aéronef étant destiné, lors de chaque étape de vol, à respecter les contraintes opérationnelles associées pendant une temporisation au moins égale à une durée prédéterminée,

le procédé comprenant :

- la détermination (104) d'un premier point de vol (S1_1 ; S2_1) à associer à une première étape de vol du profil de vol d'essai ; et
- pour une étape de vol donnée associée à un point de vol donné, la détermination, pour une étape de vol subséquente, d'un point de vol subséquent parmi les points de vol non encore associés à une étape de vol, la détermination du point de vol subséquent étant basée sur le respect d'au moins un premier critère, le premier critère étant que la variation d'une grandeur déterminante soit minimale entre le point de vol donné et le point de vol subséquent, la grandeur déterminante étant définie en fonction de la contrainte opérationnelle pour la vitesse de l'aéronef et/ou de la contrainte opérationnelle pour l'altitude de l'aéronef.

[Revendication 2] Procédé (100) selon la revendication 1, dans lequel la grandeur déterminante est choisie parmi :

(i) une hauteur totale définie par l'équation suivante $H_{TOT} = \frac{v^2}{2g} + h$ où v est la contrainte opérationnelle pour la vitesse de l'aéronef, g est l'accélération de la pesanteur et h est la contrainte opérationnelle pour l'altitude de l'aéronef ;

(ii) une énergie totale E_{TOT} définie par l'équation suivante $E_{TOT} = m.g.H$

$_{TOT}$ ou m est une contrainte opérationnelle de masse de l'aéronef ; ou (iii) la contrainte opérationnelle pour l'altitude de l'aéronef.

[Revendication 3] Procédé (100) selon la revendication 1 ou 2, le premier point de vol (S1_1 ; S2_1) est déterminé en fonction d'une étape de vol initiale, correspondant au début du vol d'essai, lors de laquelle l'aéronef présente des paramètres de vol initiaux correspondant à un point de vol initial, de sorte que la variation de la grandeur déterminante soit minimale entre le point de vol initial et le premier point de vol (S1_1 ; S2_1).

[Revendication 4] Procédé (100) selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel pour chaque point de vol, la contrainte opérationnelle pour le coefficient de portance comporte un intervalle de tolérance de masse de l'aéronef, centré sur une valeur médiane de contrainte de masse, la détermination du point de vol subséquent est, en outre, basée sur le respect d'au moins un deuxième critère, le deuxième critère étant que la valeur minimale de contrainte de masse du point de vol subséquent soit inférieure ou égale à la valeur de masse au point de vol donné.

[Revendication 5] Procédé (100) selon la revendication 4, dans lequel la détermination du point de vol subséquent est, en outre, basée sur le respect (110) d'au moins un troisième critère, le troisième critère étant que l'intervalle de tolérance de masse du point de vol subséquent présente une intersection non-vide avec l'intervalle de tolérance de masse du point de vol donné.

[Revendication 6] Procédé (100) selon la revendication 5, dans lequel chaque point de vol de la liste de points de vol est un point de vol de référence ou un point de vol complémentaire,

dans lequel pour chaque point de vol complémentaire, la contrainte opérationnelle pour le coefficient de portance est associée à un intervalle de modification de la contrainte opérationnelle pour l'altitude de l'aéronef,

le procédé étant tel que si aucun point de vol non encore associé à une étape de vol ne respecte le troisième critère, alors le procédé comprend une étape (214) de calcul de points de vol complémentaires modifiés issus de points de vol complémentaires respectant les premier et deuxième critères non encore associés à une étape de vol,

chaque point de vol complémentaire modifié comprenant un intervalle de tolérance de masse modifié obtenu par modification de la contrainte opérationnelle pour l'altitude dans l'intervalle de modification de la contrainte opérationnelle pour l'altitude correspondant,

la détermination du point de vol subséquent étant effectuée parmi les points de vol complémentaires modifiés et étant basée sur le respect du

troisième critère appliqué aux points de vol complémentaire modifiés.

[Revendication 7] Procédé (100) selon l'une des revendications 5 ou 6, dans lequel la détermination du point de vol subséquent est, en outre, basée sur le respect (116, 218) d'au moins un quatrième critère, le quatrième critère étant qu'un temps d'attente, correspondant au temps nécessaire pour qu'une valeur moyenne de la masse de l'aéronef sur une temporisation passe d'une valeur donnée correspondant à l'étape de vol donnée à une valeur comprise dans l'intervalle de tolérance de masse du point de vol subséquent, soit inférieur à un temps d'attente maximum.

[Revendication 8] Procédé (100) selon la revendication 7, dans lequel la détermination du point de vol subséquent est, en outre, basée sur le respect (118) d'au moins un cinquième critère, le cinquième critère étant que la valeur moyenne de la masse de l'aéronef sur une temporisation lors de l'étape de vol subséquente soit comprise dans l'intervalle de tolérance de masse du point de vol subséquent.

[Revendication 9] Procédé (100) selon la revendication 7 ou 8, dans lequel la valeur donnée de la moyenne de la masse de l'aéronef sur une temporisation lors de l'étape de vol donnée est estimée en amont du vol.

[Revendication 10] Procédé (100) selon l'une quelconque des revendications 7 à 9, dans lequel la détermination du point de vol subséquent est modifiée sur la base d'une valeur donnée de la moyenne de la masse de l'aéronef sur une temporisation lors de l'étape de vol donnée, mesurée lors de l'étape de vol donnée.

[Revendication 11] Procédé (100) selon l'une quelconque des revendications 4 à 10, dans lequel si aucun point de vol non encore associé à une étape de vol ne respecte les critères, alors l'étape de vol subséquente est une fin du vol d'essai.

[Revendication 12] Procédé (100) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel les paramètres de vol comprennent en outre le centrage de l'aéronef.

[Revendication 13] Système (10) de détermination d'au moins un profil de vol d'essai optimisé d'un aéronef pour la réalisation d'une campagne d'essai en vol de l'aéronef, à partir d'une liste de points de vol (A1, B1, C1, … ; A2, B2, C2, …) à atteindre durant la campagne d'essai en vol, le système (10) comprenant une unité (16) de détermination du profil de vol d'essai de l'aéronef, et une unité (12) d'acquisition de la liste de points de vol, chaque point de vol comprenant une contrainte opérationnelle pour chacun d'une pluralité de paramètres de vol, les paramètres de vol

comprenant la vitesse, l'altitude et le coefficient de portance de l'aéronef, le profil de vol d'essai comprenant une succession d'étapes de vol (S1_1, S1_2, S1_3, … ; S2_1, S2_2, S2_3, …), chaque étape de vol étant associée de manière unique à un point de vol, l'aéronef étant destiné, lors de chaque étape de vol, à respecter les contraintes opérationnelles associées pendant une temporisation au moins égale à une durée prédéterminée,

l'unité de détermination (16) étant configurée pour :

- déterminer un premier point de vol (S1_1 ; S2_1) à associer à une première étape de vol du profil de vol d'essai ; et
- déterminer, pour une étape de vol donnée associée à un point de vol donné, un point de vol subséquent pour une étape de vol subséquente parmi les points de vol non encore associés à une étape de vol, sur la base du respect d'au moins un premier critère, le premier critère étant que la variation d'une grandeur déterminante soit minimale entre le point de vol donné et le point de vol subséquent,

la grandeur déterminante étant définie en fonction de la contrainte opérationnelle pour la vitesse de l'aéronef et/ou de la contrainte opérationnelle pour l'altitude de l'aéronef,

la grandeur déterminante étant éventuellement choisie parmi :

(i) une hauteur totale définie par l'équation suivante $H_{TOT} = \frac{v^2}{2g} + h$ où v est la contrainte opérationnelle pour la vitesse de l'aéronef, g est l'accélération de la pesanteur et h est la contrainte opérationnelle pour l'altitude de l'aéronef,

(ii) une énergie totale E_{TOT} définie par l'équation suivante $E_{TOT} = m.g.H_{TOT}$ ou m est une contrainte opérationnelle de masse de l'aéronef ou

(iii) une contrainte opérationnelle pour l'altitude de l'aéronef.

[Revendication 14] Système (10) selon la revendication 13, dans lequel pour chaque point de vol, la contrainte opérationnelle pour le coefficient de portance comporte un intervalle de tolérance de masse de l'aéronef, centré sur une valeur médiane de contrainte de masse,

l'unité de détermination (16) étant configurée pour déterminer le point de vol subséquent sur la base du respect d'au moins un deuxième critère, le deuxième critère étant que la valeur minimale de contrainte de masse du point de vol subséquent soit inférieure ou égale à la valeur de masse au point de vol donné.

[Revendication 15] Système (10) selon la revendication 14, dans lequel l'unité de déter-

mination (16) est configurée pour déterminer le point de vol subséquent sur la base du respect d'au moins un troisième critère, le troisième critère étant que l'intervalle de tolérance de masse du point de vol subséquent présente une intersection non-vide avec l'intervalle de tolérance de masse du point de vol donné.

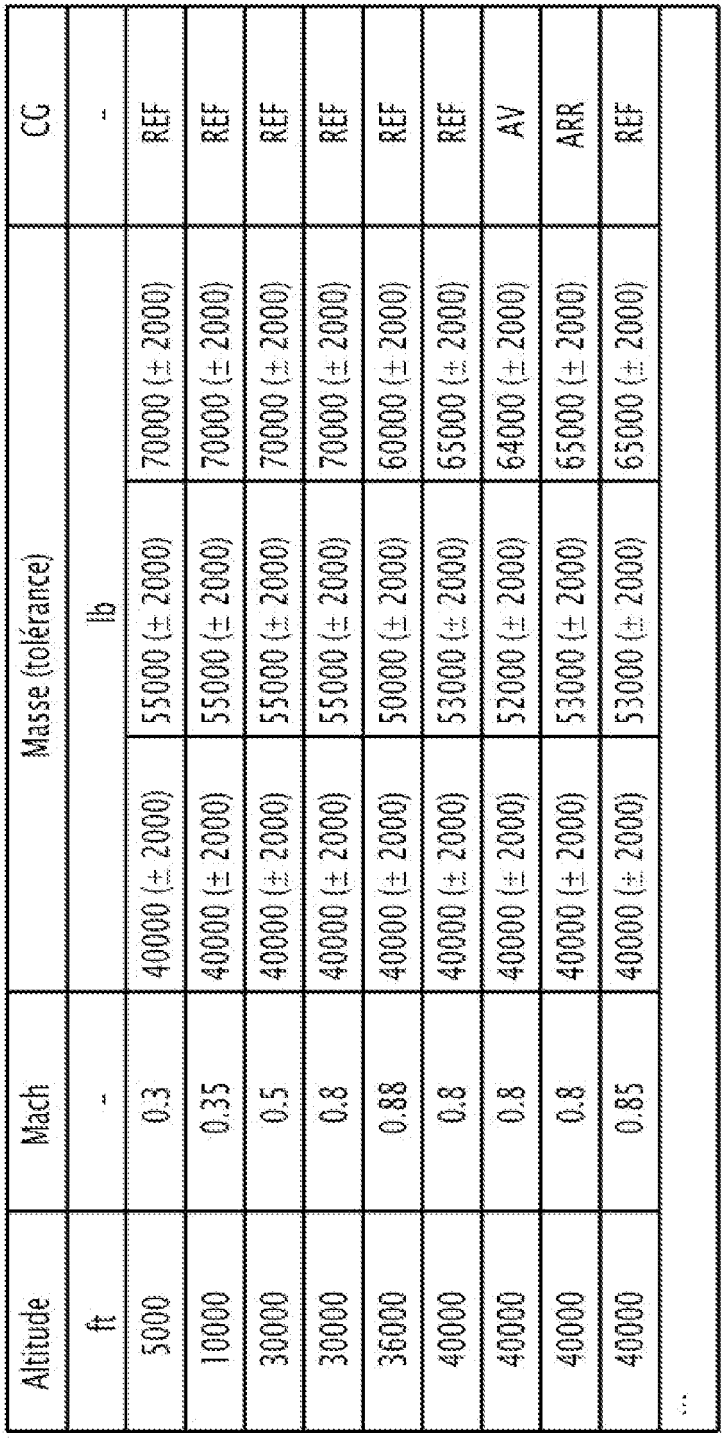
[Revendication 16] Système (10) selon la revendication 15, dans lequel chaque point de vol de la liste de points de vol est un point de vol de référence ou un point de vol complémentaire,

dans lequel pour chaque point de vol complémentaire, la contrainte opérationnelle pour le coefficient de portance est associé à un intervalle de modification de la contrainte opérationnelle pour l'altitude de l'aéronef, l'unité de détermination (16) étant configurée de sorte que si aucun point de vol non encore associé à une étape de vol ne respecte le troisième critère, alors l'unité de détermination (16) calcule des points de vol complémentaires modifiés issus de points de vol complémentaires respectant les premier et deuxième critères non encore associés à une étape de vol,

chaque point de vol complémentaire modifié comprenant un intervalle de tolérance de masse modifié obtenu par modification de la contrainte opérationnelle pour l'altitude dans l'intervalle de modification de la contrainte opérationnelle pour l'altitude correspondant,

l'unité de détermination (16) étant configurée pour déterminer le point de vol subséquent parmi les points de vol complémentaire modifiés, sur la base du respect du troisième critère appliqué aux points de vol complémentaire modifiés.

[Fig. 1]

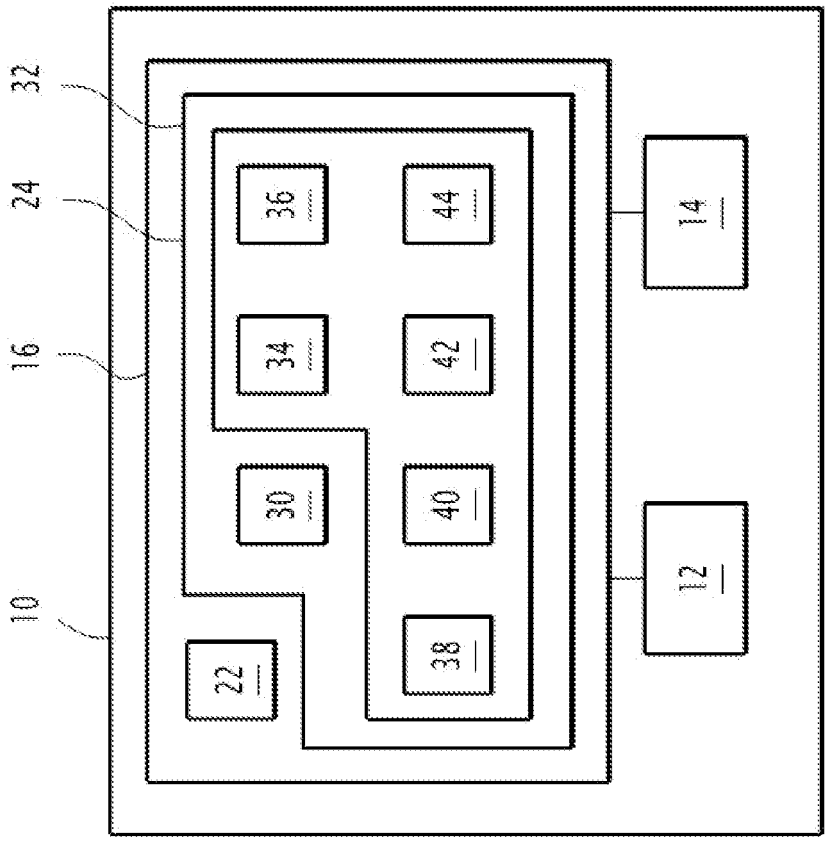


Altitude	Mach	Masse (tolérance)		CG
ft	-	lb		-
5000	0.3	40000 (± 2000)	55000 (± 2000)	70000 (± 2000)	REF
10000	0.35	40000 (± 2000)	55000 (± 2000)	70000 (± 2000)	REF
30000	0.5	40000 (± 2000)	55000 (± 2000)	70000 (± 2000)	REF
30000	0.8	40000 (± 2000)	55000 (± 2000)	70000 (± 2000)	REF
36000	0.88	40000 (± 2000)	50000 (± 2000)	60000 (± 2000)	REF
40000	0.8	40000 (± 2000)	53000 (± 2000)	65000 (± 2000)	REF
40000	0.8	40000 (± 2000)	52000 (± 2000)	64000 (± 2000)	AV
40000	0.8	40000 (± 2000)	53000 (± 2000)	65000 (± 2000)	ARR
40000	0.85	40000 (± 2000)	53000 (± 2000)	65000 (± 2000)	REF
...					

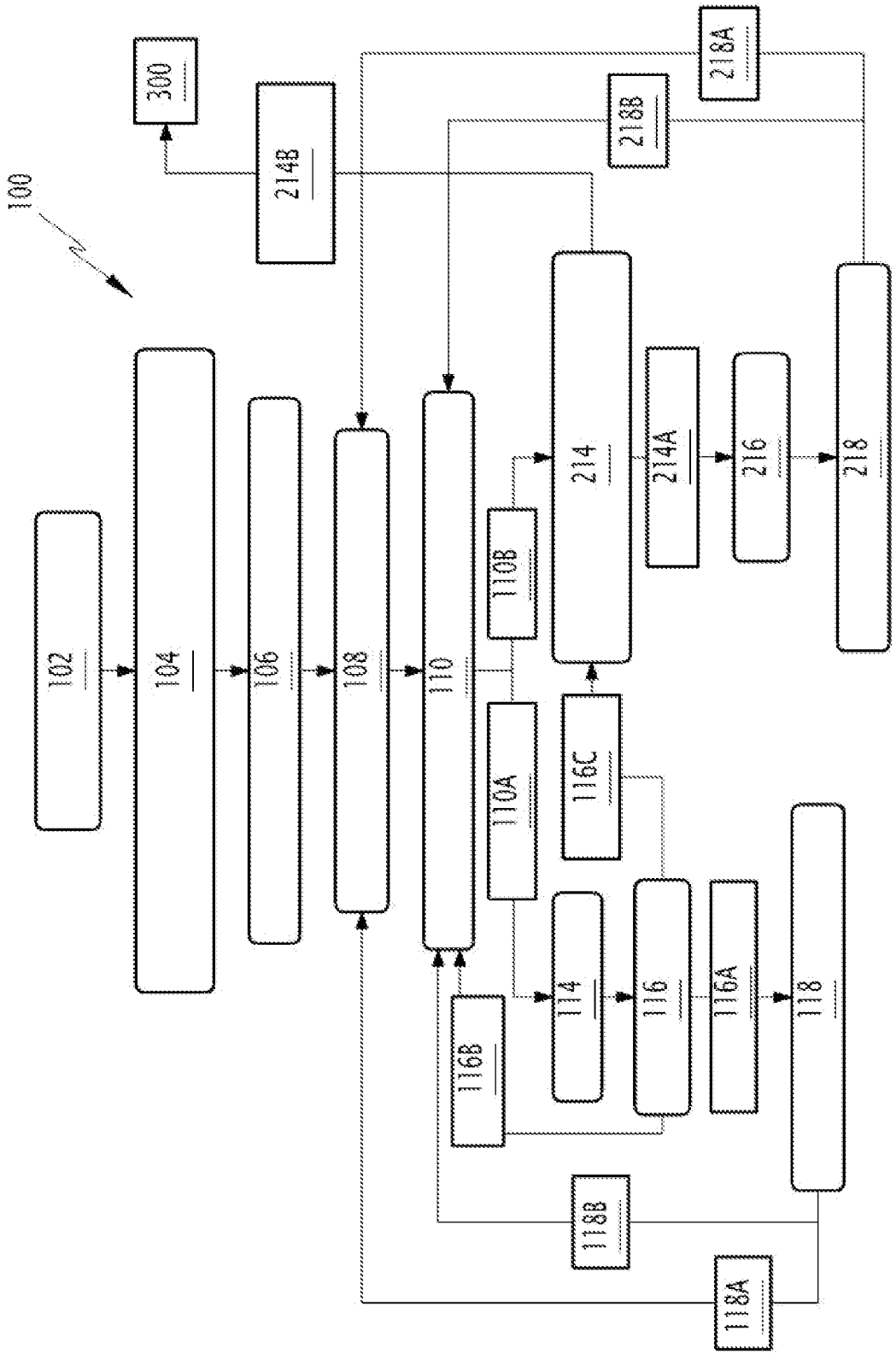
[Fig. 2]

Référence du palier	Nombre de points traités	ZPS palier SPEC	ZPS palier proposée	MACH palier SPEC	CGE_ CGE_REF=25	Masse palier SPEC	Temps de vol début palier	Temps total en palier	Temps d'attente	Masse moyenne 1ère mesure	Delta de masse	Tolérance supérieure	Tolérance inférieure	Masse fin de palier	Fuel flow Début palier
.	.	ft	ft	.	%	lb	mn	mn	mn	lb	lb	lb	lb	lb	lb/h
06.CRZ.78	2	5000	5000	0.373	25	71000	1	10	0	72800	1800	2000	-2000	72530	2659
06.CRZ.6	4	10000	10000	0.4	25	71000	14	20	0	72100	1100	2000	-2000	71800	2520
06.CRZ.8	2	10000	10000	0.4	20	71000	34	10	0	71300	300	2000	-2000	71025	2530
06.CRZ.12	2	15000	15000	0.4	25	71000	47	10	0	70600	-400	2000	-2000	70364	2358
06.CRZ.80	2	15000	15000	0.45	25	71000	58	10	0	70200	-800	2000	-2000	69931	2440
06.CRZ.82	2	15000	15000	0.508	25	71000	68	10	0	69700	-1300	2000	-2000	69452	2684
06.CRZ.3	4	5000	5000	0.3	25	68000	88	20	0	69000	1000	2000	-2000	68388	2467
06.CRZ.29	4	40000	40000	0.7	25	63500	131	39	19	65500	2000	2000	-2000	65200	2642
06.CRZ.31	2	40000	40000	0.7	20	63500	169	10	0	64600	1100	2000	-2000	64375	2653
06.CRZ.38	4	40000	40000	0.75	25	65000	181	20	0	64100	-900	2000	-2000	63436	2512
06.CRZ.50	2	40000	40000	0.8	20	64400	203	10	0	63200	-1200	2000	-2000	62898	2682

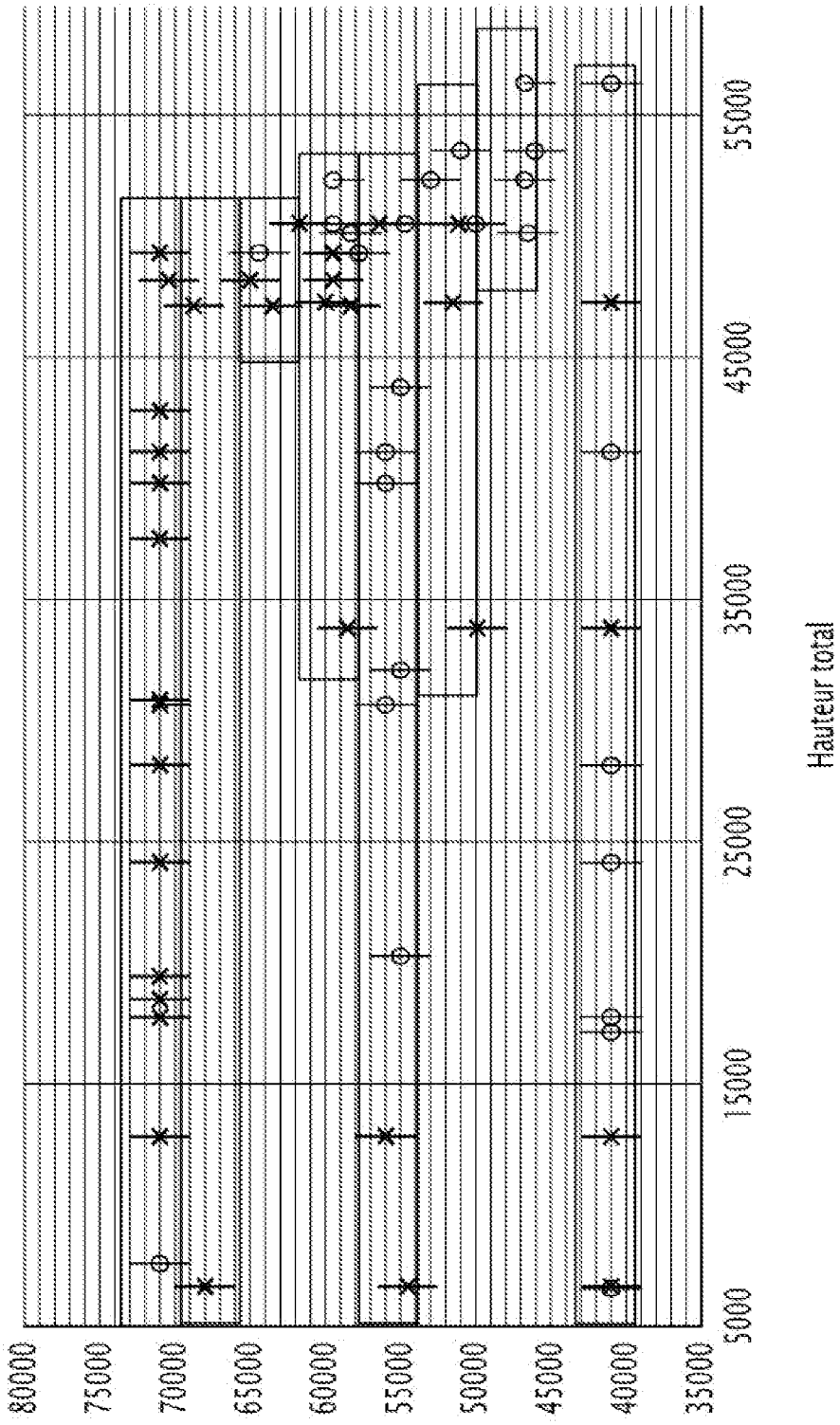
[Fig. 3]



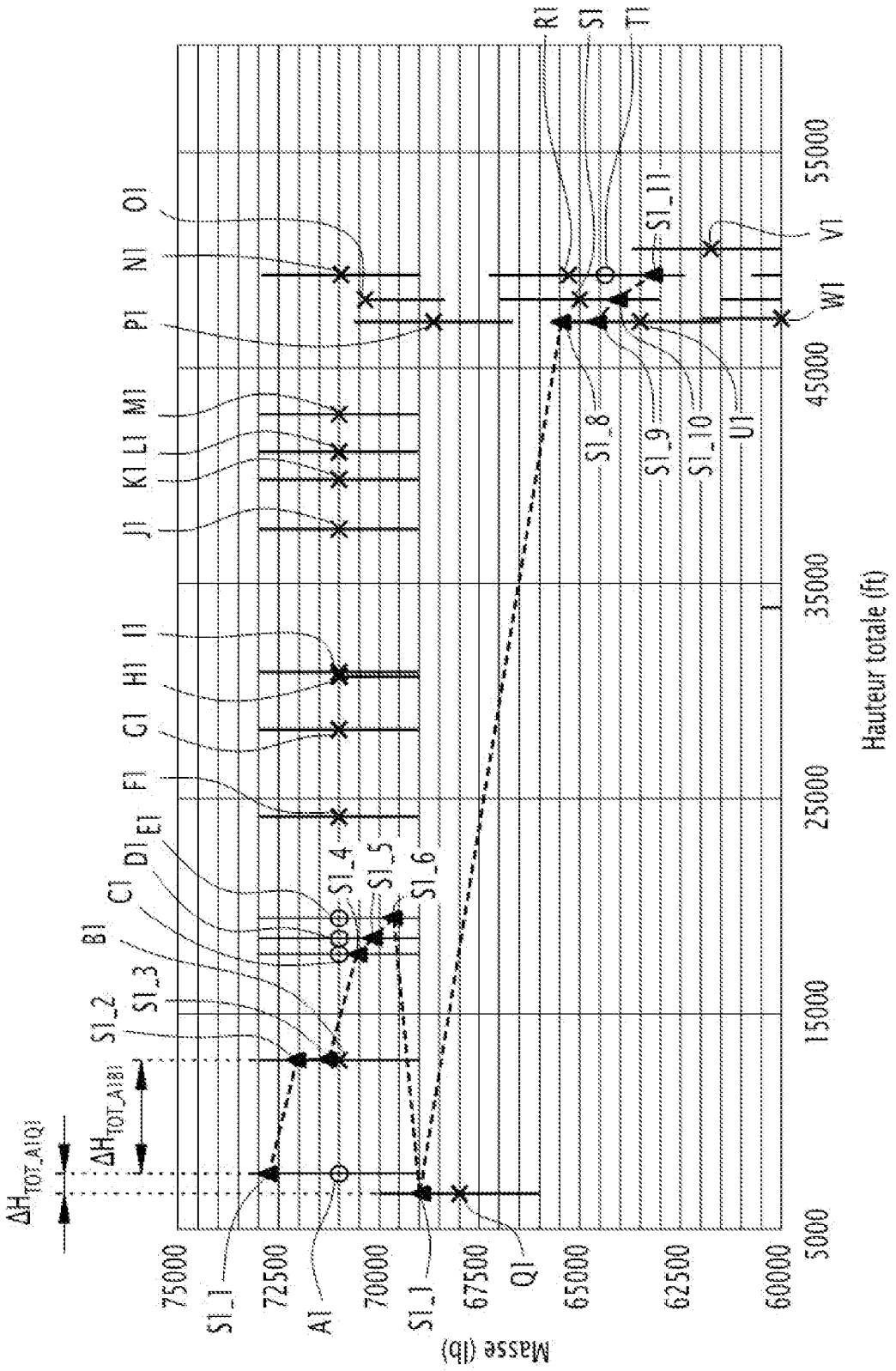
[Fig. 4]


100
102
104
106
108
110
110A
110B
114
116
116A
116B
116C
118
118A
118B
214
214A
214B
216
218
218A
218B
300

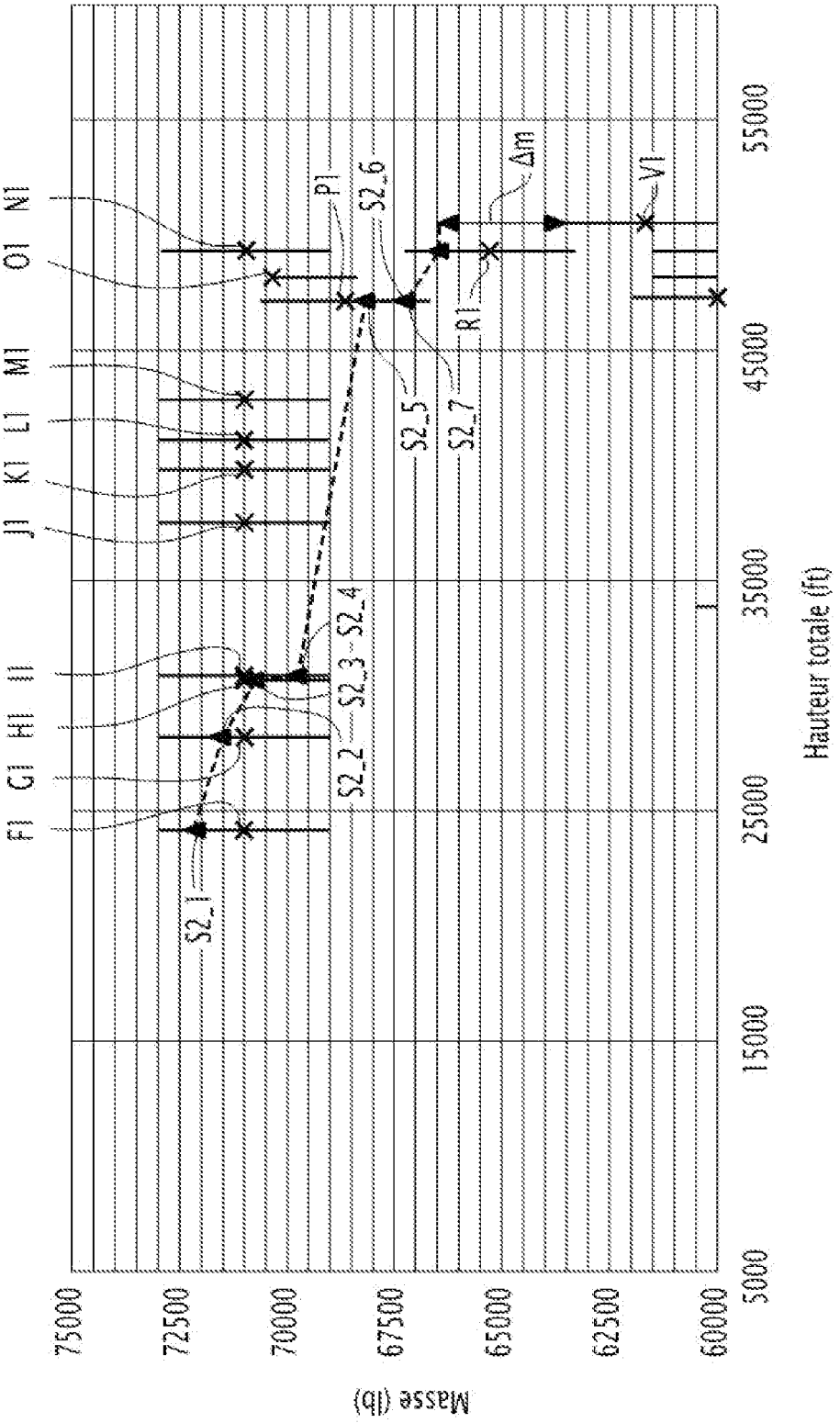
[Fig. 5]


80000
75000
70000
65000
60000
55000
50000
45000
40000
35000
5000
15000
25000
35000
45000
55000
Hauteur total

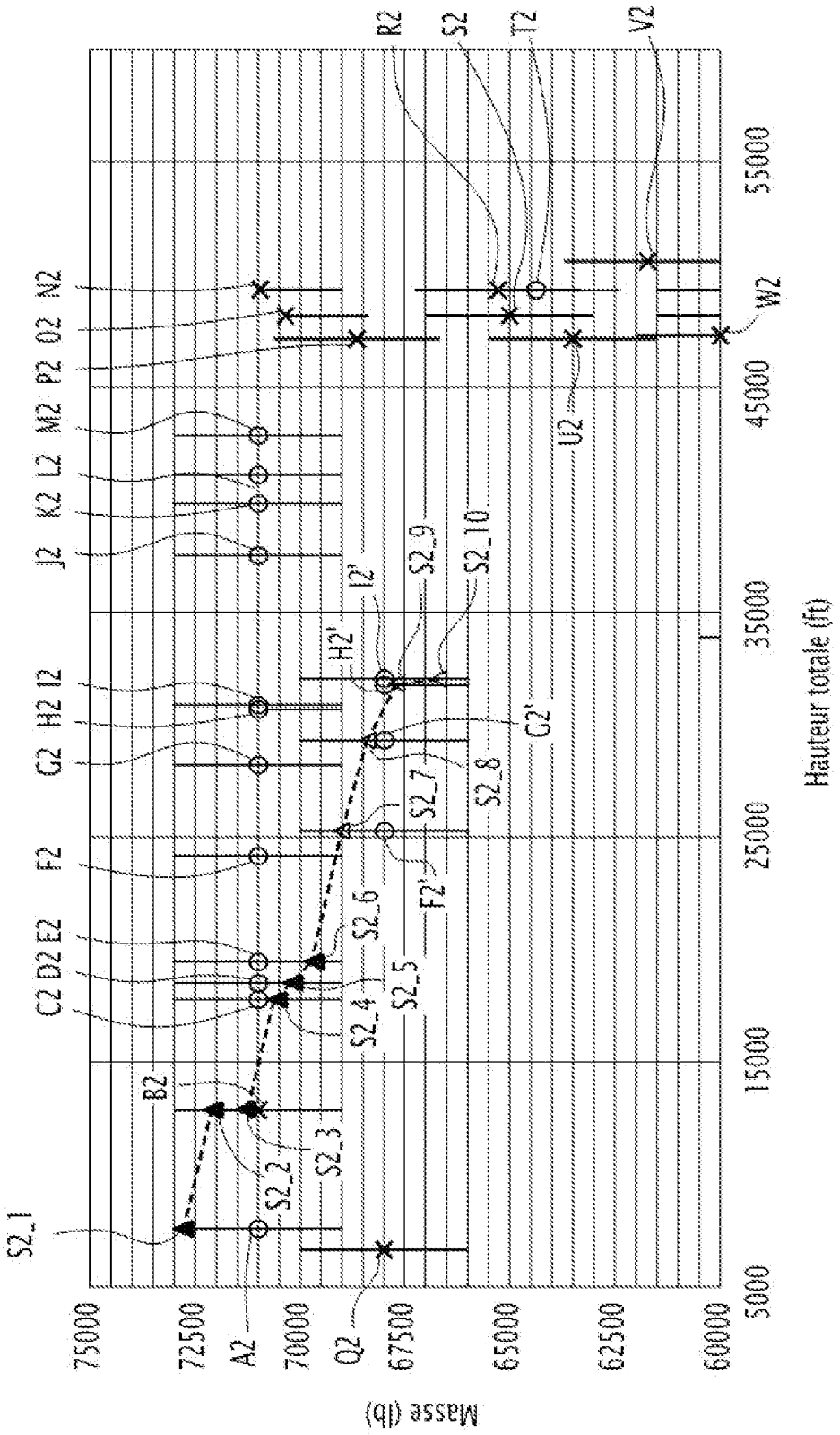
[Fig. 6]


Masse (lb)
75000
72500
70000
67500
65000
62500
60000
Hauteur totale (ft)
5000
15000
25000
35000
45000
55000
ΔH_{TOT_A1B1}
ΔH_{TOT_A1Q1}
A1
B1
C1
D1
E1
F1
G1
H1
I1
J1
K1
L1
M1
N1
O1
P1
Q1
R1
S1
T1
U1
V1
W1
S1_1
S1_2
S1_3
S1_4
S1_5
S1_6
S1_8
S1_9
S1_10
S1_11

[Fig. 7]


Masse (lb)
75000
72500
70000
67500
65000
62500
60000
Hauteur totale (ft)
5000
15000
25000
35000
45000
55000
F1
G1
H1
I1
J1
K1
L1
M1
O1
N1
P1
R1
S2_1
S2_2
S2_3
S2_4
S2_5
S2_6
S2_7
Δm
V1

[Fig. 8]


Masse (lb)
75000
72500
70000
67500
65000
62500
60000
Hauteur totale (ft)
5000
15000
25000
35000
45000
55000
S2_1
A2
B2
C2
D2
E2
F2
G2
H2
I2
J2
K2
L2
M2
P2
O2
N2
Q2
S2_2
S2_3
S2_4
S2_5
S2_6
F2'
S2_7
S2_8
H2'
I2'
S2_9
S2_10
G2'
U2
R2
S2
T2
V2
W2

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 (nouveauté) 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.

[x] 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.

[x] 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

NEANT

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

ZEYUAN HE ET AL: "Flight Test Intelligent Mission Planning System Based on Big Data Platform",
2021 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRONIC TECHNOLOGY, COMMUNICATION AND INFORMATION (ICETCI), IEEE,
27 août 2021 (2021-08-27), pages 109-112,
XP033991083,
DOI: 10.1109/ICETCI53161.2021.9563537
[extrait le 2021-10-06]

US 2017/356925 A1 (BERDOULAT LAURENT [FR])
14 décembre 2017 (2017-12-14)

US 2014/244077 A1 (LASO-LEON ENRIQUE [FR] ET AL) 28 août 2014 (2014-08-28)

SHU-FAN WU ET AL: "OPTIMUM FLIGHT TRAJECTORY GUIDANCE BASED ON TOTAL ENERGY CONTROL OFAIRCRAFT",
JOURNAL OF GUIDANCE AND CONTROL AND DYNAMICS, AIAA, RESTON, VA, US,
vol. 17, no. 2, 1 mars 1994 (1994-03-01),
pages 291-296, XP000450612,
ISSN: 0731-5090

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

NEANT