

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 12.05.23.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 15.11.24 Bulletin 24/46.

56 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du
présent fascicule*

60 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

71 Demandeur(s) : AIRBUS HELICOPTERS SAS — FR.

72 Inventeur(s) : EVRARD Jean-Philippe et ESTERLE
Florent.

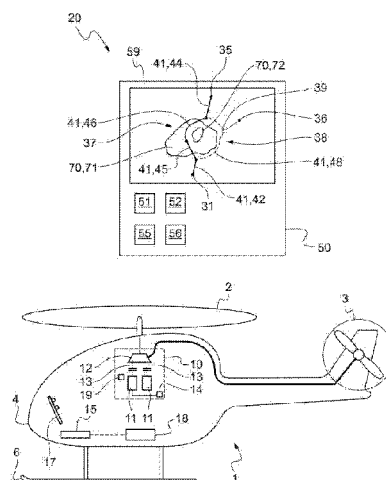
73 Titulaire(s) : AIRBUS HELICOPTERS SAS.

74 Mandataire(s) : GPI BREVETS.

54 Procédé et dispositif de routage pour un aéronef bimoteur ayant un mode de fonctionnement économique.

57 La présente invention concerne un procédé de rou-
tage pour aéronef (1) comportant deux moteurs thermiques
(11) et un mode de fonctionnement AEO, dans lequel lesdits
moteurs thermiques (11) fournissent conjointement une
puissance mécanique à un rotor (2,3) dudit aéronef (1) ainsi
qu'un mode de fonctionnement économique dans lequel un
seul moteur thermique (11) fournit une puissance méca-
nique audit rotor (2,3). Plusieurs routes possibles (37,38)
pour un vol entre des points de départ (31) et d'arrivée (35)
sont calculées indépendamment, avec des coûts opératio-
nels associés, en fonction de données de performance et de
santé dudit aéronef (1), ainsi que des données météoro-
logiques et environnementales. Les routes possibles (37,38)
comportent au moins une route AEO (37) utilisant unique-
ment ledit mode de fonctionnement AEO, et au moins une
route économique (38) utilisant au moins partiellement ledit
mode de fonctionnement AEO et ledit mode de fonctionne-
ment économique. Une route optimisée est ensuite sélec-
tionnée parmi lesdites routes possibles (37,38) selon une
comparaison des coûts opérationnels.

Figure abrégé : figure 1



Description

Titre de l'invention : Procédé et dispositif de routage pour un aéronef bimoteur ayant un mode de fonctionnement économique

- [0001] La présente invention est du domaine des systèmes d'assistance à la navigation d'un aéronef.
- [0002] La présente invention concerne un procédé et un dispositif de routage pour un aéronef bimoteur ayant un mode de fonctionnement économique.
- [0003] La présente invention est destinée aux aéronefs à voilure tournante munis d'au moins deux moteurs thermiques et d'au moins un rotor, les moteurs thermiques entraînant en rotation le ou les rotors respectifs de ces aéronefs.
- [0004] Un aéronef à voilure tournante comporte au moins un rotor pouvant être entraîné en rotation par au moins deux moteurs thermiques. Les moteurs thermiques sont en outre surdimensionnés pour permettre l'entraînement du rotor avec un seul moteur, en cas de panne d'un autre moteur. Un tel aéronef comporte un mode de fonctionnement dit « total » ou « *AEO* » pour la désignation en langue anglaise « All Engines Operative » dans lequel chaque moteur thermique fournit une puissance mécanique non nulle audit au moins un rotor, les moteurs thermiques fournissant conjointement et de façon sensiblement symétrique la puissance mécanique requise audit au moins un rotor.
- [0005] Afin de diminuer la consommation de carburant des moteurs thermiques de l'aéronef, un mode de fonctionnement dit « économique » peut être utilisé, principalement durant une phase de vol de croisière. Selon ce mode de fonctionnement économique, un seul moteur thermique fournit la puissance nécessaire pour entraîner en rotation le rotor de l'aéronef. Le ou les autres moteurs thermiques ne fournissent pas de puissance mécanique significative, voire ne fournissent aucune puissance. Ce mode de fonctionnement économique est donc un fonctionnement asymétrique des moteurs thermiques, les moteurs thermiques ne fonctionnant pas de façon identique.
- [0006] Un tel mode de fonctionnement économique est intéressant mais doit être employé judicieusement. En effet, le mode de fonctionnement économique peut permettre d'obtenir un gain en consommation pour réduire directement le coût du vol, son empreinte environnementale ou pour améliorer les performances de l'aéronef en augmentant la distance franchissable par l'aéronef ou sa masse transportable. Toutefois, le mode de fonctionnement économique peut être limité à un certain domaine de vol, d'une part pour que la sécurité du vol soit toujours assurée, et d'autre part pour que l'installation motrice fournisse la puissance requise pour la phase de vol courante.
- [0007] Par exemple, le mode de fonctionnement économique doit être engagé avec une

hauteur de sécurité minimale par rapport au sol survolé afin de permettre, en cas de panne du moteur entraînant le rotor, de réactiver un autre moteur.

- [0008] Selon un autre exemple, lors de phases de vol d'avancement à grande vitesse, l'aéronef nécessite une puissance motrice importante que ne peut pas fournir le mode de fonctionnement économique sans risque d'un endommagement spécifique du moteur thermique et/ou de la chaîne de transmission mécanique, cet endommagement étant susceptible d'engendrer alors des coûts de maintenance supplémentaires.
- [0009] Ainsi, le mode de fonctionnement économique entraîne une réduction de la vitesse de l'aéronef augmentant en conséquence le temps de vol et, par suite, le coût opérationnel de ce vol.
- [0010] Dans ces cas, les coûts induits par le temps de vol augmenté et/ou par les coûts de maintenance supplémentaires peuvent s'avérer supérieurs au gain obtenu par la baisse de consommation de carburant ou l'amélioration des performances de l'aéronef.
- [0011] Selon un autre exemple, selon les conditions opérationnelles de l'aéronef, telles que le vent, la température extérieure ou encore l'altitude, les performances d'un moteur thermique fluctuent. Ces conditions peuvent avoir une influence sur la puissance développée par le moteur thermique et/ou sa consommation de carburant. De fait, l'utilisation du mode de fonctionnement économique peut s'avérer moins économique dans ces conditions qu'un mode de fonctionnement traditionnel des moteurs thermiques en vol, voire impossible.
- [0012] Enfin, l'introduction de nouvelles énergies telles que des biocarburants, qui permettent une réduction des émissions polluantes mais dont les coûts sont significativement supérieurs aux carburants fossiles, ainsi que l'introduction de nouveaux schémas de taxation des émissions de carbone amènent une variabilité supplémentaire qui doit être intégrée à la réflexion d'un opérateur de l'aéronef sur le meilleur usage qui peut en être fait de ces biocarburants dans le cadre de ce mode de fonctionnement économique.
- [0013] Dès lors, choisir d'utiliser ou non le mode de fonctionnement économique s'avère être un problème technique complexe, tant vis-à-vis des enjeux de sécurité que des enjeux économiques pour l'opérateur.
- [0014] Par ailleurs, l'établissement d'un routage comporte l'établissement d'un plan de vol entre les points de départ et d'arrivée, une route entre les points de départ et d'arrivée comportant des points de passage successifs auxquels sont associées une altitude, voire une vitesse d'avancement. Des heures de départ et d'arrivée estimées ou encore la durée de vol estimée peuvent aussi être associées à la route. Un plan de vol peut également comporter d'éventuelles étapes intermédiaires.
- [0015] Les données et les paramètres intervenant classiquement dans l'établissement d'un routage comportent notamment les conditions météorologiques actuelles et prévi-

sionnelles entre les points de départ et d'arrivée ainsi que des données de terrain contenant le relief et les éventuels obstacles connus. Des informations de performance de l'aéronef peuvent également être prises en compte pour établir le plan de vol.

- [0016] L'écologie et la préservation de l'environnement sont également de plus en plus prises en compte aujourd'hui afin d'établir le routage d'un aéronef, par exemple pour limiter ses émissions polluantes et/ou la génération de bruit en particulier à proximité de zones habitées.
- [0017] Le document US 10262545 décrit un système pour déterminer des paramètres opérationnels d'un aéronef à voilure tournante, dont le plan de vol, en optimisant son coût de fonctionnement. Notamment, le système reçoit des données d'entrée, et fournit, notamment en vol et en temps réel, des paramètres opérationnels de l'aéronef en appliquant un modèle de coût. Les données d'entrée prises en compte incluent des stratégies de missions, des données issues de capteurs de l'aéronef, telles que la vitesse, l'altitude, l'attitude, les vitesses et accélérations angulaires de l'aéronef ainsi que des données d'endommagement d'équipements de l'aéronef, par exemple des moteurs, des coûts de maintenance. Les paramètres opérationnels comprennent par exemple un plan de vol et une pluralité de paramètres optimisés associés au plan de vol. Ces paramètres optimisés comportent par exemple le mode de fonctionnement des moteurs de l'aéronef, par exemple en équilibrant la puissance fournie par plusieurs moteurs ou en utilisant un mode de fonctionnement dans lequel un moteur est arrêté en vol afin de réduire la consommation de carburant.
- [0018] Le document EP 2763083 concerne quant à lui un procédé de traitement d'itinéraires générant plusieurs itinéraires en fonction de points d'intérêt et de caractéristiques environnementales, en particulier la pollution de l'air et la pollution sonore générées par l'aéronef et/ou économiques, en particulier sa consommation de carburant ou sa durée de vol. Des valeurs de performance peuvent être associées à chaque nouvel itinéraire.
- [0019] La présente invention a alors pour objet un procédé et un système de routage pour aéronef comportant au moins deux moteurs thermiques permettant une prise en compte optimale d'un mode de fonctionnement économique de l'aéronef pour optimiser la consommation en carburant de l'aéronef, et par suite le coût opérationnel du vol.
- [0020] Tout d'abord, la présente invention concerne un procédé de routage pour un aéronef muni d'au moins un rotor et d'au moins deux moteurs thermiques entraînant en rotation ledit au moins un rotor, l'aéronef possédant un régulateur configuré pour réguler les moteurs thermiques au moins selon un mode de fonctionnement *AEO* dans lequel chaque moteur thermique fournit une puissance mécanique non nulle audit au moins un rotor, les moteurs thermiques fournissant conjointement et de façon sensiblement symétrique la puissance mécanique requise audit au moins un rotor, et un mode de fonctionnement économique dans lequel au moins un des deux moteurs

thermiques ne fournit pas de puissance mécanique audit au moins un rotor. Le procédé comporte les étapes suivantes :

- paramétrage de paramètres d'un plan de vol comprenant :
 - un point de départ du plan de vol, et
 - un point d'arrivée du plan de vol,
- détermination à l'aide d'un calculateur de plusieurs routes possibles entre le point de départ et le point d'arrivée, en fonction des paramètres du plan de vol et de plusieurs données comprenant au moins des données de performance de l'aéronef, des données de santé de l'aéronef, des données météorologiques, et des données environnementales, la détermination comprenant :
 - détermination d'au moins une route *AEO* utilisant uniquement le mode de fonctionnement *AEO*,
 - détermination d'au moins une route économique utilisant le mode de fonctionnement économique et le mode de fonctionnement *AEO*,
- estimation à l'aide du calculateur d'un coût opérationnel de chaque route possible, en fonction de modèles de coût associés aux différents modes de fonctionnement de l'aéronef, l'estimation comprenant :
 - estimation d'au moins un coût *AEO* associé respectivement à ladite au moins une route *AEO*,
 - estimation d'au moins un coût économique associé respectivement à ladite au moins une route économique,
- comparaison des coûts *AEO* et économique,
- sélection à l'aide du calculateur d'une route parmi les routes *AEO* et économique selon la comparaison des coûts *AEO* et économique.

[0021] Le procédé selon l'invention permet ainsi de sélectionner automatiquement la route permettant de minimiser le coût opérationnel du vol, ou d'optimiser ce coût opérationnel en combinaison avec un ou plusieurs autres critères, et en prenant en compte au cours du vol les modes de fonctionnement *AEO* et économique ainsi que les conditions d'utilisation du mode de fonctionnement économique.

[0022] Le procédé selon l'invention permet ainsi avantageusement d'assister un opérateur de l'aéronef dans la préparation du vol en permettant une optimisation du coût opérationnel du vol, grâce à une utilisation optimisée des modes de fonctionnement de l'aéronef et en particulier du mode de fonctionnement économique.

[0023] En effet, une utilisation inappropriée de ce mode de fonctionnement économique peut générer plus d'inconvénients que de bénéfices, provoquant par exemple un allongement de la durée du vol non compensé économiquement par une baisse de la consommation en carburant.

[0024] Dans ce but, plusieurs routes possibles sont calculées parallèlement et indé-

pendamment en fonction des paramètres d'un plan de vol, à savoir les points de départ et d'arrivée ainsi qu'éventuellement d'un ou de plusieurs points de passage et/ou d'un ou de plusieurs corridors de passage. D'autres contraintes peuvent également être à respecter pour le plan de vol, telles qu'une durée maximale du vol un horaire d'arrivée et/ou une charge utile à transporter par exemple.

- [0025] Les corridors de passage définissent des zones dans lesquelles l'aéronef doit évoluer, par exemple avec une altitude minimale et une altitude maximale pour les phases de vol de croisière. Les corridors de passage permettent également de définir des zones où le vol est interdit. De préférence, plusieurs routes *AEO* et plusieurs routes économiques sont calculées.
- [0026] Les routes possibles sont également calculées en fonction de plusieurs données relatives d'une part à l'aéronef et d'autre part à l'environnement du vol.
- [0027] Ainsi, des données de performance de l'aéronef peuvent être prises en compte. Ces données de performance permettent de définir les performances de l'aéronef, telles que les limitations du domaine de vol autorisé, la vitesse maximale de l'aéronef, la puissance disponible au niveau de chaque moteur thermique ainsi que leur consommation et comportent par exemple des premières données de performance correspondant au mode de fonctionnement *AEO* de l'aéronef, et des secondes données de performance correspondant au mode de fonctionnement économique de l'aéronef.
- [0028] Ces données de performance comportent par exemple des abaques ou des lois permettant de connaître la vitesse maximale de l'aéronef, la puissance disponible pour chaque moteur thermique et sa consommation en carburant, en fonction de conditions opérationnelles, telles que l'altitude, la masse totale de l'aéronef, la température extérieure ainsi que la pression atmosphérique, les capacités calorifiques du carburant utilisé. Ces données de performance peuvent aussi comporter des marges moteur liées à l'utilisation ou à l'endommagement des moteurs thermiques ainsi que la configuration spécifique de l'aéronef, comportant notamment le type d'entrée d'air et de tuyère pour recaler les performances théoriques sur les performances réelles de chaque moteur thermique.
- [0029] Des données de santé de l'aéronef peuvent également être prises en compte et comprennent des données relatives notamment à l'utilisation et à l'endommagement des moteurs thermiques et d'une chaîne de transmission mécanique reliant mécaniquement lesdits au moins deux moteurs thermiques et ledit au moins un rotor. Une telle chaîne de transmission mécanique peut comporter notamment une boîte de transmission principale chargée de transmettre la puissance mécanique délivrée par les moteurs thermiques vers le rotor. Ces données de santé comprennent, par exemple, un ou plusieurs compteurs dits « moteur » associé à chaque moteur thermique, chaque compteur moteur caractérisant des données d'usage liées à l'utilisation ou à

l'endommagement d'un moteur thermique. Un compteur moteur peut par exemple comptabiliser les heures de fonctionnement du moteur thermique, l'endommagement par fluage qu'il a subi, ainsi que les nombres de cycles d'un générateur de gaz et d'une turbine libre d'un turbomoteur.

- [0030] Ces données de santé peuvent comprendre au moins deux compteurs dits « transmission » associés par exemple respectivement à des arbres d'entrée de la boîte de transmission principale, les arbres d'entrée étant reliés mécaniquement respectivement aux moteurs thermiques, chaque compteur transmission caractérisant des données d'usage liées à l'utilisation ou à l'endommagement d'un arbre d'entrée. Un compteur transmission peut par exemple comptabiliser le nombre de cycles entrée-sortie du mode de fonctionnement économique d'une roue libre de la boîte de transmission principale ou le nombre d'heures de fonctionnement d'un arbre d'entrée ou encore sa durée d'utilisation en mode économique.
- [0031] Des données météorologiques peuvent encore être prises en compte et comprennent des données relatives au vent et à la température entre les points de départ et d'arrivée inclus ainsi qu'éventuellement aux points de passage et/ou dans les corridors de passage. Ces données météorologiques peuvent également comporter la présence de zones de givrage ou d'intempéries entre les points de départ et d'arrivée qui peuvent être incompatibles avec l'utilisation du mode de fonctionnement économique. Ces données météorologiques peuvent comporter des données mesurées ainsi que des prévisions.
- [0032] Enfin, des données environnementales peuvent aussi être prises en compte et comprennent une base de données terrain permettant la prise en compte du relief ainsi qu'éventuellement d'obstacles artificiels pour établir les routes possibles. La base de données terrain peut aussi comprendre les zones habitées, éventuellement avec la densité de population associée, afin de pouvoir prendre en compte, si besoin, les nuisances environnementales, qu'elles soient relatives au bruit ou à la pollution de l'air vis-à-vis de ces zones habitées.
- [0033] Ces différentes données peuvent être stockées dans une mémoire du calculateur ou une mémoire reliée au calculateur.
- [0034] Les routes possibles peuvent être établies parallèlement et indépendamment par le calculateur, en appliquant par exemple un algorithme connu de calcul d'une route. Une route possible peut être définie par une succession de points de navigation reliés entre eux par des segments de vol. Ces segments de vol peuvent être formés par exemple par des lignes droites, par des lignes curvilignes ou encore par des arcs de cercle.
- [0035] Ensuite, l'estimation d'un coût opérationnel de chaque route possible peut être réalisée, en fonction de modèles de coût associés aux différents modes de fonctionnement de l'aéronef. Ces modèles de coût comprennent un modèle de coût *AEO*

associé au mode de fonctionnement *AEO* et un modèle de coût économique associé au mode de fonctionnement économique. Les modèles de coût *AEO* et économique intègrent notamment les coûts liés au carburant utilisé, aux coûts horaires de vol de l'aéronef, aux coûts de maintenance de l'aéronef ainsi que le coût lié à l'équipage de l'aéronef.

- [0036] Les modèles de coût *AEO* et économique permettent d'estimer les coûts opérationnels *AEO* et économiques des routes possibles *AEO* et économiques en fonction des caractéristiques de ces routes possibles. Par exemple, le coût opérationnel d'une route est estimé notamment en fonction de l'altitude des points de passage, de la durée du vol ainsi que du mode de fonctionnement utilisé sur chaque segment de ces routes possibles.
- [0037] La comparaison des coûts *AEO* et économique peut permettre ainsi de classer les différentes routes *AEO* et économiques selon les valeurs de leurs coûts *AEO* et économique respectifs. Cette comparaison des coûts *AEO* et économique peut aussi permettre de déterminer le coût *AEO* le plus faible parmi les coûts *AEO* et le coût économique le plus faible parmi les coûts économiques et/ou le coût opérationnel le plus faible parmi les coûts *AEO* et les coûts économiques.
- [0038] Enfin, le procédé selon l'invention permet, à partir de la pluralité de routes possibles calculées, de sélectionner une route parmi toutes les routes *AEO* et économiques établies en fonction des coûts opérationnels de ces routes possibles. La route ainsi sélectionnée permet une intégration optimisée du mode de fonctionnement économique dans le plan de vol permettant par exemple de minimiser le coût opérationnel du vol, ou d'optimiser ce coût opérationnel en combinaison avec un ou plusieurs autres critères. Cette étape de sélection est réalisée de façon automatique, par l'intermédiaire du calculateur, par exemple en appliquant une simulation de « Monte Carlo » réalisée éventuellement de manière orientée et non aléatoire par un échantillonneur dit *TPE* pour l'expression en langue anglaise « Tree-structured Parsen Estimator ». En fonction de la situation, la route sélectionnée peut comprendre ou ne pas comprendre au moins un segment sollicitant la mise en œuvre du mode de fonctionnement économique.
- [0039] Le procédé de routage pour aéronef selon l'invention peut de plus comprendre une ou plusieurs des caractéristiques qui suivent, prises seules ou en combinaison.
- [0040] Selon une possibilité, la comparaison des coûts *AEO* et économiques peut être effectuée sur le seul critère du coût opérationnel, la route sélectionnée étant la route possible ayant le coût opérationnel le plus faible parmi les coûts *AEO* et économiques.
- [0041] Alternativement, la comparaison des coûts *AEO* et économiques peut être effectuée sur le critère du coût opérationnel combiné avec un critère complémentaire.
- [0042] Ce critère complémentaire peut être, par exemple, choisi parmi la durée de vol, les nuisances environnementales, à savoir le bruit ou la pollution de l'air, les conditions

météorologiques, pour éviter un orage par exemple, la disponibilité d'aires d'atterrissage de secours.

- [0043] Selon une autre possibilité compatible avec les précédentes, le mode de fonctionnement économique peut comporter un premier mode de fonctionnement, pour lequel un seul moteur thermique parmi lesdits au moins deux moteurs thermiques fonctionne et assure seul l'entraînement en rotation dudit au moins un rotor, ledit au moins un autre moteur thermique étant arrêté et non alimenté en carburant, et un second mode de fonctionnement, pour lequel un seul moteur thermique parmi lesdits au moins deux moteurs thermiques fournit une puissance mécanique audit au moins un rotor, pour l'entraîner en rotation, ledit au moins un autre moteur thermique étant démarré et alimenté en carburant, ne fournissant aucune puissance mécanique audit au moins un rotor.
- [0044] Selon une autre possibilité compatible avec les précédentes, chaque route économique peut comporter plusieurs segments de vols successifs entre les points de départ et d'arrivée, et, le calculateur peut déterminer pour chaque segment un mode de fonctionnement de l'aéronef, parmi le mode de fonctionnement économique et le mode de fonctionnement *AEO*, en fonction des caractéristiques du segment, par exemple son altitude, sa position, son orientation, sa longueur, et des données précédemment citées. En particulier, le mode de fonctionnement économique est associé à un segment dont les caractéristiques correspondent au domaine autorisé de ce mode de fonctionnement. De même, tous les segments de vols d'une route *AEO* sont associés au mode de fonctionnement *AEO*.
- [0045] En outre, le calculateur peut déterminer, pour chaque segment auquel le mode de fonctionnement économique est associé, une information indiquant le moteur thermique parmi les moteurs thermiques qui doit fournir une puissance mécanique audit au moins un rotor.
- [0046] Cette information peut ainsi permettre d'alterner le fonctionnement de plusieurs moteurs durant plusieurs vols successifs, voire sur un même vol, afin d'équilibrer l'utilisation et/ou l'endommagement des moteurs ainsi que des arbres d'entrée associés d'une boîte de transmission principale à laquelle est relié chaque moteur thermique. Cette information peut être déterminée en fonction des données de santé de l'aéronef, et en particulier des compteurs moteurs et des compteurs transmission. En conséquence, la maintenance des moteurs thermiques et de la boîte de transmission principale peut être optimisée.
- [0047] Selon une autre possibilité compatible avec les précédentes, le procédé peut comporter une étape de déplacement de l'aéronef entre les points de départ et d'arrivée selon la route sélectionnée. De la sorte, ce vol est réalisé avec un coût opérationnel minimum ou bien optimisé en fonction d'un critère complémentaire.

- [0048] Dans ce but, le procédé peut aussi comporter une étape de transmission de la route sélectionnée à un dispositif de gestion de vol de l'aéronef en vue de la mise en œuvre de cette étape de déplacement de l'aéronef.
- [0049] Selon un autre exemple compatible avec les précédents, le procédé peut comporter une étape d'affichage de la route sélectionnée sur un dispositif de visualisation, tel un écran par exemple, afin de permettre à l'opérateur de visualiser la route sélectionnée.
- [0050] Selon un autre exemple compatible avec les précédents, les données de performance peuvent être spécifiques aux moteurs thermiques de l'aéronef concerné, prenant en compte notamment les performances réelles, notamment en termes de puissance, de consommation, et d'endommagement, spécifiques à chacun de ces moteurs thermiques, voire le vieillissement de la chaîne de transmission entre chaque moteur thermique et le rotor. Une mise à jour de ces données de performance peut, par exemple, être effectuée suite à une opération de maintenance, une opération de surveillance ou un diagnostic de santé effectué sur l'aéronef ou sur le moteur thermique plus spécifiquement.
- [0051] Selon un autre exemple compatible avec les précédents, le procédé peut comporter une étape d'identification d'une ou de plusieurs aires d'atterrissage de secours sur la ou les routes économiques, dans le cas où le mode de fonctionnement économique ne peut pas être réalisé sur au moins une partie de la route sélectionnée.
- [0052] En effet, dans le cas où au moins une partie de ladite route sélectionnée ne peut être effectuée en sollicitant le mode de fonctionnement économique prévu, la consommation en carburant de l'aéronef va augmenter, et l'aéronef pourrait ne pas pouvoir atteindre le point d'arrivée. Par exemple, un changement des conditions météorologiques, telles qu'une augmentation de la vitesse du vent ou un changement de température, ou la survenue d'une panne d'un système de l'aéronef peuvent empêcher l'utilisation du mode de fonctionnement économique prévu.
- [0053] L'identification d'une ou de plusieurs aires d'atterrissage de secours permet alors de déterminer une ou des aires d'atterrissage de secours situées à proximité d'une route économique vers lesquelles l'aéronef peut être dérouté si le mode de fonctionnement économique ne peut pas être réalisé sur au moins une partie de la route sélectionnée.
- [0054] La présente invention vise aussi un programme d'ordinateur comprenant des instructions qui, lorsque le programme est exécuté, conduisent à mettre en œuvre le procédé selon l'invention précédemment décrit. Le programme est par exemple exécuté par un ordinateur ou un calculateur, comprenant au moins un processeur, au moins un circuit intégré, au moins un système programmable, au moins un circuit logique, et une mémoire, ces exemples ne limitant pas la portée donnée à l'expression « ordinateur » ou « calculateur ».
- [0055] La mémoire permet de stocker le programme d'ordinateur ainsi que différentes in-

formations utilisées par le programme d'ordinateur, à savoir les données de performance et les données de santé de l'aéronef, les modèles de coût associés à l'aéronef, des données météorologiques et des données environnementales.

- [0056] La présente invention vise également un système de routage pour aéronef muni d'au moins un rotor, et d'au moins deux moteurs thermiques entraînant en rotation ledit au moins un rotor, l'aéronef possédant un mode de fonctionnement économique dans lequel au moins un desdits au moins deux moteurs thermiques ne fournit pas de puissance mécanique audit au moins un rotor. Ce système de routage comporte au moins un calculateur, et au moins une mémoire stockant au moins une base de données, par exemple des données de performance et des données de santé de l'aéronef, des modèles de coût associés à l'aéronef, des données météorologiques et des données environnementales.
- [0057] Ce système de routage est configuré pour la mise en œuvre du procédé précédemment décrit.
- [0058] Le système de routage peut être un équipement n'appartenant pas à l'aéronef et de fait indépendant de l'aéronef. Le système de routage peut alors comporter au moins un émetteur d'informations et l'aéronef peut comporter au moins un dispositif de réception et au moins un dispositif de gestion de vol relié au dispositif de réception.
- [0059] Le système de routage peut alternativement être intégré à l'aéronef et constituer à ce titre un équipement de l'aéronef. Le système de routage peut alors être relié à un dispositif de gestion de vol de l'aéronef. De plus, la route sélectionnée peut être affichée sur un écran du dispositif de gestion de vol ou sur un écran de l'aéronef.
- [0060] Le système de routage peut comporter un dispositif de visualisation, tel un écran, afin d'afficher la route sélectionnée à l'attention d'un opérateur de l'aéronef.
- [0061] La présente invention vise encore un ensemble de routage comportant un aéronef et un tel système de routage n'appartenant pas à l'aéronef. L'aéronef comporte au moins un dispositif de réception et au moins un dispositif de gestion de vol relié au dispositif de réception. Le système de routage comporte au moins un émetteur d'informations configuré pour coopérer avec le dispositif de réception de l'aéronef afin de transmettre les caractéristiques du plan de vol et la route sélectionnée au dispositif de réception qui les transfère au dispositif de gestion de vol de l'aéronef.
- [0062] La présente invention vise enfin un aéronef comportant un système de routage.
- [0063] L'invention et ses avantages apparaîtront avec plus de détails dans le cadre de la description qui suit avec des exemples donnés à titre illustratif en référence aux figures annexées qui représentent :
- la [Fig.1], un ensemble de routage pour aéronef,
 - la [Fig.2], un schéma synoptique d'un procédé de routage pour aéronef,
 - la [Fig.3], un graphique comportant des corridors d'un plan de vol, et

- la [Fig.4], un graphique représentant les coûts opérationnels de routes possible en fonction de deux critères.
- [0064] Les éléments présents dans plusieurs figures distinctes sont affectés d'une seule et même référence.
- [0065] Un système 50 de routage pour aéronef est représenté sur la [Fig.1]. Le système 50 de routage comporte un calculateur 55 et une mémoire 56. Un tel système 50 de routage peut également comporter un dispositif d'affichage 59, tel un écran, ainsi qu'un récepteur d'informations 52 et un émetteur d'informations 51. L'émetteur d'informations 51 et le récepteur d'informations 52 sont, par exemple, respectivement un récepteur et un émetteur d'ondes radio d'un dispositif de communication sans fil du système 50 de routage.
- [0066] Un aéronef 1 auquel est destiné le système 50 de routage est un aéronef à voilure tournante, tel que représenté sur la [Fig.1], comportant un fuselage 4, un atterrisseur 6, une installation motrice 10 et au moins un rotor 2,3 entraîné en rotation par l'installation motrice 10. L'installation motrice 10 comporte au moins deux moteurs thermiques 11, un régulateur 14, régulant le fonctionnement des moteurs thermiques 11, et une boîte de transmission principale 12 agencée entre les moteurs thermiques 11 et le ou les rotors 2,3. La boîte de transmission principale 12 comporte des arbres 13 d'entrée reliés mécaniquement chacun et distinctivement à un des moteurs thermiques 11 par exemple à l'aide d'une roue libre de la boîte de transmission principale 12.
- [0067] A titre d'exemple, l'aéronef 1 représenté sur la [Fig.1] comporte deux moteurs thermiques 11 et deux rotors 2,3, à savoir un rotor principal 2 agencé au-dessus du fuselage 4 et un rotor arrière 3 agencé sur une poutre de queue de l'aéronef 1.
- [0068] Le régulateur 14 peut, par exemple, comporter autant de contrôleur moteur que l'installation motrice 10 comporte de moteurs thermiques 11. Chaque contrôleur moteur peut piloter le fonctionnement d'un moteur thermique 11 et enregistrer les données d'usage relative à ce moteur thermique 11. Un tel contrôleur moteur est, par exemple, un contrôleur d'un système connu sous l'acronyme *FADEC* pour la désignation en langue anglaise « Full Authority Digital Engine Control ».
- [0069] En outre, l'aéronef 1 peut également comporter un dispositif d'affichage 17, un dispositif de réception 18 et un dispositif de gestion de vol 15 relié au dispositif de réception 18.
- [0070] Enfin, l'aéronef 1 dispose d'une mémoire 19 chargée d'enregistrer les données d'usage de la boîte de transmission principale 12.
- [0071] L'installation motrice 10 peut mettre en œuvre plusieurs modes de fonctionnement afin d'entraîner les rotors 2,3. Par exemple, dans un mode de fonctionnement dit « total » ou « *AEO* », le régulateur 14 régule le fonctionnement des moteurs thermiques 11 de sorte que tous les moteurs 11 sont utilisés et fournissent chacun une puissance

mécanique non nulle pour fournir conjointement la puissance mécanique nécessaire au bon fonctionnement des rotors 2,3 et de l'aéronef 1.

- [0072] Alternativement, le régulateur 14 peut réguler le fonctionnement des moteurs thermiques 11 de sorte qu'un seul moteur 11 fournisse la puissance mécanique nécessaire au bon fonctionnement des rotors 2,3 et de l'aéronef 1 dans un mode de fonctionnement dit « économique ». Le ou les autres moteurs thermiques 11 de l'installation motrice 10 ne fournissent alors pas de puissance mécanique significative aux rotors 2,3. Ce mode de fonctionnement économique a pour but de réduire la consommation de carburant de l'installation motrice 10. Le mode de fonctionnement économique est particulièrement destiné au vol de croisière.
- [0073] Le mode de fonctionnement économique peut comporter un premier mode de fonctionnement économique, dans lequel le ou les moteurs thermiques 11 ne fournissant pas de puissance mécanique aux rotors 2,3, et sont arrêtés et ne sont pas alimentés en carburant. Dans le cas où les moteurs thermiques 11 sont des turbomoteurs à turbine libre, les organes tournants du générateur de gaz de ce turbomoteur arrêté peuvent toutefois être maintenus en rotation à l'aide d'une machine électrique pour faciliter et accélérer le redémarrage de ce turbomoteur.
- [0074] Le mode de fonctionnement économique peut aussi comporter un second mode de fonctionnement économique, dans lequel le ou les moteurs thermiques 11 ne fournissant pas de puissance mécanique aux rotors 2,3 sont démarrés et fonctionnent à un état de ralenti, ne fournissant à ce titre aucune puissance mécanique aux rotors 2,3.
- [0075] Le mode de fonctionnement économique peut permettre, lorsqu'il est utilisé à bon escient, d'obtenir une économie financière en réduisant la consommation de carburant, éventuellement afin d'augmenter la distance franchissable de l'aéronef 1 ou la charge utile pour une quantité de carburant donnée.
- [0076] Toutefois, dans des conditions non adaptées, le mode de fonctionnement économique peut être contreproductif. Par exemple, en mode de fonctionnement économique, la vitesse d'avancement de l'aéronef 1 est réduite, ce qui allonge la durée de vol et peut contribuer à augmenter le coût total du vol. De plus, en mode de fonctionnement économique, l'installation motrice 10 fonctionne de façon dissymétrique ce qui peut avoir un effet sur les opérations de maintenance, et le coût associé.
- [0077] Le système 50 de routage selon l'invention permet de répondre à ce problème en assistant un opérateur de l'aéronef 1 dans l'établissement d'un plan de vol en prenant en compte les modes de fonctionnement *AEO* et économique. Le système 50 de routage est en effet configuré pour mettre en œuvre un procédé de routage pour aéronef dont un schéma synoptique est représenté sur la [Fig.2].
- [0078] Dans ce but, la mémoire 56 peut stocker des instructions et/ou un programme d'ordinateur permettant notamment d'exécuter ce procédé de routage. Le calculateur

- 55 du système 50 de routage permet l'exécution de ce procédé de routage pour aéronef.
- [0079] En outre, le système 50 de routage peut être indépendant de l'aéronef 1 et peut coopérer avec l'aéronef 1 comme indiqué sur la [Fig.1].
- [0080] Le dispositif de réception 18 de l'aéronef 1 peut coopérer avec l'émetteur d'informations 51 du système 50 de routage afin de recevoir des caractéristiques d'un plan de vol, et en particulier les caractéristiques d'une route sélectionnée par le système 50 de routage, puis de les transférer au dispositif de gestion de vol 15 de l'aéronef 1 en vue de la réalisation d'un vol de l'aéronef 1 suivant cette route sélectionnée.
- [0081] De plus, le système 50 de routage et l'aéronef 1 peuvent former un ensemble de routage 20.
- [0082] Alternativement, le système 50 de routage peut être intégré à l'aéronef 1 et constituer un équipement de cet aéronef 1.
- [0083] Le procédé de routage comporte les étapes suivantes.
- [0084] Tout d'abord, au cours d'une étape de paramétrage 110 de paramètres du plan de vol, les paramètres de vol de la mission envisagée sont définis. Cette étape de paramétrage 110 permet de définir un point de départ 31 et un point d'arrivée 35. Cette étape de paramétrage 110 permet de la sorte d'initialiser le plan de vol.
- [0085] Les point de départ 31 et d'arrivée 35 sont représentés sur la [Fig.1], sur le dispositif d'affichage 59 ainsi que sur la [Fig.3]. De plus, des corridors 32-34 sont également représentés sur la [Fig.3] et définissent des zones dans lesquelles l'aéronef 1 doit évoluer. Par exemple, le plan de vol peut comporter un corridor de décollage 32 démarrant au point de départ 31, un corridor de croisière 33 et un corridor d'arrivée 34 se terminant au point d'arrivée 35. Le corridor de croisière 33 permet par exemple de définir une hauteur minimale ALT_{Min} et une hauteur maximale ALT_{Max} par rapport au sol survolé pour les phases de vol de croisière.
- [0086] Des limitations de hauteur minimale ALT_{MinEco} et maximale ALT_{MaxEco} par rapport au sol survolé relatives au domaine de vol autorisé dans le mode de fonctionnement économique sont également représentées sur la [Fig.3].
- [0087] La hauteur minimale ALT_{Min} et la limitation de hauteur minimale ALT_{MinEco} répondent notamment à des paramètres de sécurité afin d'assurer une marge de hauteur suffisante pour une reprise en main de l'aéronef 1 en cas de panne moteur. Ces hauteurs sont donc différentes selon le mode de fonctionnement et le nombre de moteurs en fonctionnement. En outre, la limitation d'altitude minimale ALT_{MinEco} peut comporter des limitations différentes et spécifiques pour les premier et second modes de fonctionnement économique.
- [0088] D'autres paramètres du plan de vol peuvent être définis lors de l'étape de paramétrage 110. Par exemple, une durée maximale du vol, un ou plusieurs points de

passage, et/ou une heure fixe ou bien un intervalle horaire pour le départ et/ou pour l'arrivée peuvent être paramétrés. Des paramètres spécifiques à la mission, tels que la charge utile ou le type de vol, par exemple un vol à vue ou un vol aux instruments, peuvent aussi être définis.

- [0089] Ces paramètres de vol sont généralement paramétrés par un opérateur de l'aéronef 1. Par exemple, les points de départ 31 et d'arrivée 35 peuvent par exemple être saisis directement sur une carte affichée sur le dispositif d'affichage 59 ou bien en saisissant leurs coordonnées via un dispositif de saisie adapté.
- [0090] Ensuite, le procédé comporte une étape de détermination 120 pour déterminer, avec le calculateur 55 et à l'aide d'algorithme connu de calcul de routes, plusieurs routes possibles 37,38 reliant le point de départ 31 au point d'arrivée 35 en fonction de plusieurs données et en prenant en compte les paramètres du plan de vol. Cette étape de calcul 120 est réalisée préalablement au décollage de l'aéronef 1.
- [0091] L'étape de calcul 120 comporte une première sous-étape de calcul 121 pour calculer, avec le calculateur 55, une ou plusieurs routes *AEO* 37, au cours desquelles l'aéronef 1 utiliserait uniquement le mode de fonctionnement *AEO*.
- [0092] L'étape de calcul 120 comporte une deuxième sous-étape de calcul 122 pour calculer, avec le calculateur 55, une ou plusieurs routes économiques 38, au cours desquelles l'aéronef 1 utiliserait au moins partiellement le mode de fonctionnement économique et le mode de fonctionnement *AEO*. Dans ce cas, dès que les conditions d'utilisation du mode de fonctionnement économique, et en particulier le domaine de vol autorisé, sont réunies sur une partie de la route, le mode de fonctionnement économique est retenu. Dans le cas contraire, le mode de fonctionnement *AEO* est choisi.
- [0093] Une seule route *AEO* 37 et une seule route économique 38 sont représentées sur la [Fig.1]. Cependant l'étape de détermination 120 permet de déterminer plusieurs routes *AEO* 37 et plusieurs routes économiques 38, voire une multitude de routes *AEO* 37 et économiques 38 couvrant les corridors 32-34.
- [0094] Les données permettant la détermination de ces routes possibles 37,38 comportent au moins des données relatives à l'aéronef 1 et des données relatives à l'environnement. Ces données sont, par exemple, stockées dans la mémoire 56.
- [0095] Les données relatives à l'aéronef 1 comportent des données de performance de l'aéronef 1 qui comprennent des premières données de performance correspondant au mode de fonctionnement *AEO*, et des secondes données de performance correspondant au mode de fonctionnement économique. Certaines données de performance peuvent être communes aux deux modes de fonctionnement, telle une puissance requise au vol pour atteindre une vitesse donnée ou encore les capacités calorifiques du carburant utilisé, et d'autres peuvent être différentes et spécifiques pour chaque mode de fonctionnement. Par exemple, les limitations du domaine de vol autorisé, telles que la

hauteur et la vitesse d'avancement, ainsi que les puissances disponibles et les consommations de carburant sont spécifiques pour chaque mode de fonctionnement. Ces données de performance peuvent aussi comporter des marges moteur spécifiques à chaque moteur thermique 11 permettant de définir les performances réelles de chaque moteur thermique 11.

- [0096] Ces données de performances peuvent être prises en compte sous la forme d'abaques déterminant par exemple la puissance disponible et la consommation de carburant de chaque moteur thermique 11 en fonction de la masse de l'aéronef 1, de son altitude, de sa vitesse et/ou des conditions atmosphériques extérieures.
- [0097] Les données relatives à l'aéronef 1 comportent également des données de santé de l'aéronef 1, notamment au moins deux compteurs moteur caractérisant respectivement des données d'usage des moteurs thermiques 11, et au moins deux compteurs transmission caractérisant respectivement les données d'usage relatives respectivement aux arbres d'entrée 13, et comprenant notamment le nombre de cycles entrée-sortie du mode de fonctionnement économique de la roue libre de la boîte de transmission principale 12, ou le nombre d'heures de fonctionnement en mode économique des arbres 13 d'entrée de la boîte de transmission principale 12. D'autres données de santé peuvent également être prise en compte pour le calcul 120 des routes possibles 37,38, telles que l'usage de machines électriques chargées de supporter un ou plusieurs moteurs thermiques 11 en mode de fonctionnement économique par exemple.
- [0098] Les données relatives à l'environnement comportent des données météorologiques comprenant notamment des données relatives au vent et à la température, voire la pression atmosphérique et la présence d'intempéries entre les points de départ 31 et d'arrivée 35 ainsi que dans les corridors de passage 32-34. Ces données météorologiques peuvent être prises en compte par les données de performances de l'aéronef 1, par exemple les abaques précédemment cités.
- [0099] Les données relatives à l'environnement comportent aussi des données environnementales telles une base de données terrain. Cette base de données terrain recense les obstacles permanents naturels ou artificiels, voire des obstacles artificiels temporaires. Par exemple, la base de données terrain comporte une montagne 70 telle que représentée sur la [Fig.1].
- [0100] La route AEO 37 et la route économique 38 représentées sur la [Fig.1] sont ainsi calculées en fonction de ces différentes données et des paramètres de vol.
- [0101] Cependant, l'étape de détermination 120 peut conclure que seul un type de routes possibles est réalisable parmi les routes AEO 37 et économique 38, en fonction des données et des paramètres de vol. Par exemple, vu la distance entre les points de départ 31 et d'arrivée 35 combiné éventuellement avec une charge utile importante, il peut être impossible de réaliser le vol en mode de fonctionnement AEO.

- [0102] Pour des raisons similaires, l'étape de calcul 120 peut conclure qu'aucune route possible n'existe, aussi bien pour un mode de fonctionnement *AEO* que pour un mode de fonctionnement économique.
- [0103] Les routes possibles 37,38 peuvent comporter plusieurs segments de vol 41 successifs entre les points de départ 31 et d'arrivée 35, comme représenté sur la [Fig.1]. Chaque segment de vol 41 correspond à une partie de la route possible 37,38 et des caractéristiques du vol de l'aéronef 1 sont associées à chacun de ces segments de vol 41. Ces caractéristiques du vol de l'aéronef 1 associées à chacun de ces segments de vol 41 sont des éléments du plan de vol, tels que l'altitude, la vitesse d'avancement, la position, le cap par exemple, et sont définies lors de l'étape de détermination 120.
- [0104] Pour les routes *AEO* 37, le calculateur 55 associe le mode de fonctionnement *AEO* à chaque segment de vol 41. Pour les routes économiques 38, le calculateur 55 associe un mode de fonctionnement parmi le mode de fonctionnement économique et le mode de fonctionnement *AEO* à chaque segment de vol 41, ainsi qu'éventuellement une information indiquant quel moteur thermique 11 parmi les moteurs thermiques 11 doit fournir la puissance mécanique aux rotors 2,3.
- [0105] Selon les exemples de routes possibles 37,38 affichées sur la [Fig.1], les données environnementales ont permis d'identifier la montagne 70 située entre les points de départ 31 et d'arrivée 35. Le sommet 72 de la montagne 70 a une altitude supérieure à la hauteur maximale *ALTMax* définie par le corridor 33. L'altitude du flanc 71 de cette montagne 70 est quant à elle inférieure à cette hauteur minimale *ALTMin*, et supérieure à la limitation de hauteur maximale *ALTMaxEco*.
- [0106] En conséquence, la route *AEO* 37 affichée sur la [Fig.1] a été définie selon quatre segments de vol 41 lors de l'étape de calcul 121, ces quatre segments de vol 41 étant parcourus avec l'aéronef 1 en mode de fonctionnement *AEO*. Un segment de décollage 42 démarre au point de départ 31 et respecte le corridor de départ 32. Ensuite, deux segments de croisière 45,46 survolent le flanc 71 et contournent le sommet 72 tout en respectant le corridor de départ 32. Enfin, un segment d'atterrissage 44 se termine au point d'arrivée, en respectant le corridor d'arrivée 34.
- [0107] La route économique 38 affichée sur la [Fig.1] a quant à elle été définie selon trois segments de vol 41 lors de l'étape de calcul 122. Le segment de décollage 42 et le segment d'arrivée 44 sont identiques à ceux de la route *AEO* 37 et parcourus avec l'aéronef 1 en mode de fonctionnement *AEO*. Ensuite, un segment de croisière 48, situé entre les segments de décollage 42 et le segment d'arrivée 44, contourne la montagne 70 tout en respectant le corridor de croisière 33 ainsi que les limitations de hauteur minimale *ALTMinEco* et maximale *ALTMaxEco*. Dès lors, le segment de croisière 48 peut être parcouru avec l'aéronef 1 en mode de fonctionnement économique.

- [0108] De plus, l'étape de détermination 120 peut comporter une sous-étape supplémentaire d'identification 125 pour identifier une ou plusieurs aires d'atterrissage de secours 36 à proximité de chaque route économique 38 calculée lors de l'étape de détermination 122. Une telle aire d'atterrissage de secours 36 peut être nécessaire pour la sécurité du vol. Un point de déroutement 39 situé sur la route économique 38 peut également être défini, l'aéronef 1 devant se diriger vers l'aire d'atterrissage de secours 36 à partir de ce point de déroutement 39. Par exemple, selon l'exemple affiché sur la [Fig.1], si l'aéronef 1 ne peut pas être utilisé avec le mode de fonctionnement économique sur la totalité du segment de vol 41, par exemple en cas de changement des conditions météorologiques, il pourrait ne pas avoir suffisamment de carburant pour atteindre le point d'arrivée 35. Dès lors, le plan de vol comporte une aire d'atterrissage de secours 36 et un point de déroutement 39 calculés lors de la sous-étape de détermination 125 permettant à l'aéronef 1 de se dérouter de la route économique 38 à partir du point de déroutement 39 pour se diriger vers l'aire d'atterrissage de secours 36 afin de s'y poser avant de ne plus avoir de carburant.
- [0109] Ensuite, le procédé selon l'invention comporte une étape d'estimation 130 réalisée à l'aide d'un calculateur 55 pour estimer un coût opérationnel de chaque route possible 37,38 précédemment déterminée, en fonction de modèles de coût associés aux différents modes de fonctionnement de l'aéronef 1.
- [0110] Les modèles de coût comportent un modèle de coût *AEO* associé au mode de fonctionnement *AEO* et un modèle de coût économique associé au mode de fonctionnement économique. Ces modèles de coût permettent de déterminer le coût d'un vol ou d'une partie d'un vol pour chaque route possible 37,38 en fonction du mode de fonctionnement de l'aéronef 1 utilisé sur chaque segment de cette route possible 37,38. Des données économiques peuvent être communes aux deux modèles de coût *AEO* et économique, comme par exemple le coût du carburant, le coût de l'heure de vol de l'aéronef 1 et/ou le coût de l'heure de vol d'un pilote.
- [0111] Lors de cette étape d'estimation 130, le calculateur 55 peut par exemple appliquer la formule suivante pour estimer le coût opérationnel d'une route *AEO* 37 ou économique 38 :
- [0112]
$$\text{Coût de la mission} = \text{consommation carburant} \times \text{coût du carburant} + \text{durée de vol} \times (\text{coût horaire pilote} + \text{coût horaire de vol aéronef}) + \text{coût maintenance moteur} + \text{coût de maintenance aéronef}$$
- [0113] Les coûts opérationnels reflètent l'effet de chacun des paramètres influant la réalisation du vol. Cependant, ces coûts opérationnels peuvent être à associer aux caractéristiques du vol, en particulier la durée du vol, les conditions environnementales et la charge utile transportée, pour juger et sélectionner le meilleur compromis sur ces coûts opérationnels.

- [0114] Cette étape d'estimation 130 comprend une sous-étape d'estimation 131 à l'aide du modèle de coût *AEO* d'un coût *AEO* pour chaque route *AEO* 37. Une route *AEO* 37 est entièrement réalisée en mode de fonctionnement *AEO*. Dès lors, uniquement le modèle de coût *AEO* est nécessaire pour estimer le coût opérationnel d'une route *AEO* 37.
- [0115] Cette étape d'estimation 130 comprend également une sous-étape d'estimation 132 à l'aide du modèle de coût *AEO* et du modèle de coût économique d'un coût économique pour chaque route économique 38. Une route économique 38 est réalisée partiellement en mode de fonctionnement *AEO* et en mode de fonctionnement économique. Dès lors, les deux modèles de coût *AEO* et économique sont nécessaires pour estimer le coût opérationnel d'une route économique 38.
- [0116] Le procédé selon l'invention comporte alors une étape de comparaison 140 réalisée à l'aide du calculateur 55 pour comparer les coûts *AEO* et économiques précédemment estimés
- [0117] Cette étape de comparaison 140 permet de classer les différentes routes *AEO* et économiques selon leurs coûts *AEO* et économiques respectifs en fonction d'un ou de plusieurs critères. Par exemple, une comparaison des coûts *AEO* et économiques peut être effectuée sur le seul critère de la valeur de chacun des coûts *AEO* et économiques des routes *AEO* et économiques déterminées. Alternativement, une comparaison des coûts *AEO* et économique peut en plus prendre en considération au moins un critère complémentaire, choisi par exemple parmi la durée de vol, les nuisances environnementales, les conditions météorologiques, la disponibilité d'aires d'atterrissage de secours.
- [0118] Enfin, une étape de sélection 150 est réalisée avec le calculateur 55 pour sélectionner une route parmi les routes possibles 37,38 précédemment déterminées suite à l'étape de comparaison 140 des coûts *AEO* et économique.
- [0119] La route sélectionnée peut être par exemple choisie parmi les routes *AEO* 37 et économiques 38 sur le seul critère du coût opérationnel. La route sélectionnée est dans ce cas la route possible 37,38 ayant le coût opérationnel le plus faible.
- [0120] Alternativement, la route sélectionnée peut être choisie parmi la ou les routes *AEO* 37 et la ou les routes économiques 38 en combinant le critère du coût opérationnel avec au moins un critère complémentaire.
- [0121] Dans tous les cas, l'étape de sélection 150 peut comporter, par exemple, une simulation de Monte Carlo afin de choisir lors d'une première itération une quantité finie de route. Ce choix est réalisé de manière orientée et non aléatoire par un échantillonneur *TPE* permettant avantageusement de sélectionner des routes possibles 37,38 de manière à converger vers l'objectif requis. Ensuite, au cours de la ou des itérations suivantes, en utilisant les résultats des simulations précédentes, le calculateur 55 peut alors obtenir directement la route ayant le coût opérationnel le plus faible parmi la ou

les routes *AEO* 37 et la ou les routes économiques 38. Le calculateur 55 peut éventuellement identifier de façon alternative la route *AEO* 37 ayant le coût opérationnel le plus faible parmi plusieurs routes *AEO* 37 et la route économique 38 ayant le coût opérationnel le plus faible parmi plusieurs routes économiques 38.

- [0122] Alternativement, la route sélectionnée peut être choisie parmi la ou les routes *AEO* 37 et la ou les routes économiques 38 en combinant le critère du coût opérationnel avec au moins un des critères complémentaires.
- [0123] Par exemple, la [Fig.4] représente les coûts opérationnels d'une multitude de routes possibles, comprenant des routes *AEO* 37 et des routes économiques 38, dans un repère ayant par exemple le coût opérationnel des routes possibles 37,38 en abscisse et un critère complémentaire en ordonnée. Dans l'exemple représenté, les coûts opérationnels x_1 et x_2 sont ceux représentant les meilleurs compromis entre le coût opérationnel et ce critère complémentaire. Dans cet exemple, un échantillonneur *TPE* dédié au multi objectif peut être utilisé pour identifier ces deux coûts opérationnels x_1 et x_2 , qui appartiennent au front de Pareto des résultats de la simulation de Monte Carlo. La sélection entre les coûts opérationnels x_1 et x_2 peut alors être effectuée en fonction du critère à privilégier parmi le coût opérationnel et ce critère complémentaire, cette sélection étant de préférence effectuée de façon automatique par le calculateur 55 pour obtenir la route sélectionnée.
- [0124] Le procédé peut comporter une étape optionnelle d'affichage 155 pour afficher la route sélectionnée sur le dispositif d'affichage 59 afin d'en informer, par exemple, l'opérateur de l'aéronef 1. L'étape optionnelle d'affichage 155 peut éventuellement comprendre un affichage de la route *AEO* 37 ayant le coût opérationnel le plus faible parmi plusieurs routes *AEO* 37 et de la route économique 38 ayant le coût opérationnel le plus faible parmi plusieurs routes économiques 38. L'opérateur peut ainsi se rendre compte des différences entre ces deux routes possibles 37,38 ayant les coûts opérationnels optimaux.
- [0125] Chaque route 37,38 peut être affichée en deux dimensions, selon une vue de dessus sur le dispositif d'affichage 59.
- [0126] Le procédé peut ensuite comporter une étape de déplacement 170 de l'aéronef 1 pour effectuer un vol entre les points de départ 31 et d'arrivée 35 selon la route sélectionnée.
- [0127] Dans ce but, le procédé peut aussi comporter une étape de transmission 160 du plan de vol, et en particulier de la route sélectionnée, à un dispositif de gestion de vol 15 de l'aéronef 1 en vue de la réalisation de l'étape de déplacement 170. La transmission des caractéristiques relatives au plan de vol est effectuée à l'aide de l'émetteur d'informations 51 qui coopère avec le dispositif de réception 18 de l'aéronef 1. Le dispositif de réception 18 reçoit ainsi les caractéristiques du plan de vol, et en particulier les caractéristiques de la route sélectionnée, puis les transfère au dispositif de

gestion de vol 15 de l'aéronef 1 en vue de la réalisation d'un vol de l'aéronef 1 suivant cette route sélectionnée.

[0128] Naturellement, la présente invention est sujette à de nombreuses variations quant à sa mise en œuvre. Bien que plusieurs modes de réalisation aient été décrits, on comprend bien qu'il n'est pas concevable d'identifier de manière exhaustive tous les modes possibles. Il est bien sûr envisageable de remplacer un moyen décrit par un moyen équivalent sans sortir du cadre de la présente invention et des revendications.

Revendications

[Revendication 1]

Procédé de routage pour un aéronef (1) muni d'au moins un rotor (2,3) et d'au moins deux moteurs thermiques (11) entraînant en rotation ledit au moins un rotor (2,3), ledit aéronef (1) possédant un régulateur configuré pour réguler lesdits moteurs thermiques (11) au moins selon un mode de fonctionnement *AEO* dans lequel lesdits moteurs thermiques (11) fournissent chacun une puissance mécanique non nulle audit au moins un rotor (2,3) et conjointement une puissance mécanique requise audit au moins un rotor (2,3), et un mode de fonctionnement économique dans lequel au moins un desdits moteurs thermiques (11) ne fournit pas de puissance mécanique audit au moins un rotor (2,3), caractérisé en ce que ledit procédé comporte les étapes suivantes :

- paramétrage (110) de paramètres d'un plan de vol comprenant :
 - un point de départ (31) dudit plan de vol, et
 - un point d'arrivée (35) dudit plan de vol, et
- détermination (120) à l'aide d'un calculateur (55) de plusieurs routes possibles (37,38) entre ledit point de départ (31) et ledit point d'arrivée (35), en fonction desdits paramètres dudit plan de vol et de plusieurs données comprenant au moins des données de performance dudit aéronef (1), des données de santé dudit aéronef (1), des données météorologiques, et des données environnementales, ladite détermination (120) comprenant :
 - détermination (121) d'au moins une route *AEO* (37) utilisant uniquement ledit mode de fonctionnement *AEO*,
 - détermination (122) d'au moins une route économique (38) utilisant ledit mode de fonctionnement économique et ledit mode de fonctionnement *AEO*,
- estimation (130) à l'aide d'un calculateur (55) d'un coût opérationnel de chaque route possible (37,38) en fonction de modèles de coût associés aux différents modes de fonctionnement dudit aéronef (1), ladite estimation (130) comprenant :
 - estimation (131) d'au moins un coût *AEO* associé res-

- pectivement à ladite au moins une route *AEO*,
estimation (132) d'au moins un coût économique
associé respectivement à ladite au moins une route
économique,
- comparaison (140) desdits coûts *AEO* et économique,
- sélection (150) à l'aide dudit calculateur (55) d'une route
parmi lesdites routes *AEO* (37) et économique (38) selon ladite
comparaison desdits coûts *AEO* et économique.

[Revendication 2] Procédé selon la revendication 1,
pour lequel ledit procédé comporte un déplacement (170) dudit aéronef
(1) entre lesdits points de départ (31) et d'arrivée (33) selon ladite route
sélectionnée.

[Revendication 3] Procédé selon la revendication 2,
pour lequel ledit procédé comporte une transmission (160) de la route
sélectionnée à un dispositif de gestion de vol (15) dudit aéronef (1).

[Revendication 4] Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3,
pour lequel
lesdites données de performance dudit aéronef (1) comprennent :

- des premières données de performance correspondant audit
mode de fonctionnement *AEO* dudit aéronef (1), et
- des secondes données de performance correspondant audit
mode de fonctionnement économique dudit aéronef (1),

lesdites données de santé dudit aéronef (1) comprennent :

- un compteur moteur associé à chaque moteur thermique (11),
ledit compteur moteur comptabilisant au moins une donnée
d'usage dudit moteur thermique (11), et
- au moins deux compteurs transmission associés respec-
tivement à des arbres (13) d'entrée d'une boîte de transmission
principale (12) agencée entre lesdits moteurs thermiques (11)
et ledit au moins un rotor (2,3), lesdits arbres (13) d'entrée
étant reliés mécaniquement respectivement auxdits moteurs
thermiques (11), chaque compteur transmission comptabilisant
au moins une donnée d'usage d'un desdits arbres (13)

d'entrée,

lesdites données météorologiques comprennent des données relatives au vent et à la température entre lesdits points de départ (31) et d'arrivée (35), et

lesdites données environnementales comprennent une base de données terrain.

- [Revendication 5] Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, pour lequel ladite au moins une route économique comporte plusieurs segments de vol successifs entre lesdits points de départ (51) et d'arrivée (55), et ledit calculateur (55) détermine pour chaque segment un mode de fonctionnement dudit aéronef (1) parmi ledit mode de fonctionnement économique et ledit mode de fonctionnement *AEO* associé en fonction de caractéristiques dudit segment et desdites données.
- [Revendication 6] Procédé selon la revendication 5, pour lequel ledit calculateur (55) détermine pour chaque segment pour lequel ledit mode de fonctionnement économique est associé une information indiquant ledit moteur thermique (11) parmi lesdits moteurs thermiques (11) fournissant ladite puissance mécanique audit au moins un rotor (2,3).
- [Revendication 7] Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, pour lequel ledit mode de fonctionnement économique comporte un premier mode de fonctionnement pour lequel un seul moteur thermique (11) parmi lesdits moteurs thermiques (11) fonctionne et assure seul l'entraînement en rotation dudit au moins un rotor (2,3), ledit au moins un autre moteur thermique (11) étant arrêté et non alimenté en carburant et un second mode de fonctionnement pour lequel un seul moteur thermique (11) parmi lesdits moteurs thermiques (11) fournit une puissance mécanique audit au moins un rotor (2,3) pour l'entraîner en rotation, ledit au moins un autre moteur thermique (11) étant démarré et alimenté en carburant, ne fournissant aucune puissance mécanique audit au moins un rotor (2,3).
- [Revendication 8] Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, pour lequel ladite sélection (150) d'une route parmi lesdites routes *AEO* (37) et économique (38) est effectuée sur le seul critère dudit coût opérationnel, la route sélectionnée étant la route possible (37,38) ayant ledit coût *AEO* ou économique le plus faible.

- [Revendication 9] Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, pour lequel ladite sélection (150) d'une route parmi lesdites routes *AEO* (37) et économiques (38) est effectuée sur le critère du coût opérationnel combiné avec au moins un critère complémentaire.
- [Revendication 10] Procédé selon la revendication 9, pour lequel ledit au moins un critère complémentaire est choisi parmi une durée de vol, des nuisances environnementales, des conditions météorologiques, une disponibilité d'aires d'atterrissage de secours.
- [Revendication 11] Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, pour lequel ledit procédé comporte une étape d'identification (125) d'une ou de plusieurs aires d'atterrissage de secours (36) sur ladite au moins une route économiques (38), dans le cas où ledit mode de fonctionnement économique ne peut pas être réalisé sur au moins une partie de ladite route sélectionnée.
- [Revendication 12] Programme d'ordinateur comprenant des instructions qui, lorsque ledit programme est exécuté, conduisent à mettre en œuvre le procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 11.
- [Revendication 13] Système (50) de routage pour aéronef (1) muni d'au moins un rotor (2,3) et d'au moins deux moteurs thermiques (11) entraînant en rotation ledit au moins un rotor (2,3), ledit aéronef (1) possédant un mode de fonctionnement économique dans lequel au moins un desdits moteurs thermiques (11) ne fournit pas de puissance mécanique audit au moins un rotor (2,3), ledit système (50) comportant :
- au moins un calculateur (55), et
 - au moins une mémoire (56) stockant au moins une base de données,
- caractérisé en ce que ledit système (50) de routage est configuré pour mettre en œuvre le procédé de routage pour aéronef selon l'une quelconque des revendications 1 à 11.
- [Revendication 14] Ensemble de routage (20) comportant un aéronef (1) et un système (50) de routage selon la revendication 13, caractérisé en ce que ledit aéronef (1) comporte au moins un dispositif de réception (18) et au moins un dispositif de gestion de vol (15) relié audit dispositif de réception (18), ledit système (50) de routage comporte au moins un émetteur d'informations (51) configuré pour coopérer avec ledit dispositif de réception (18) dudit aéronef (1) afin de

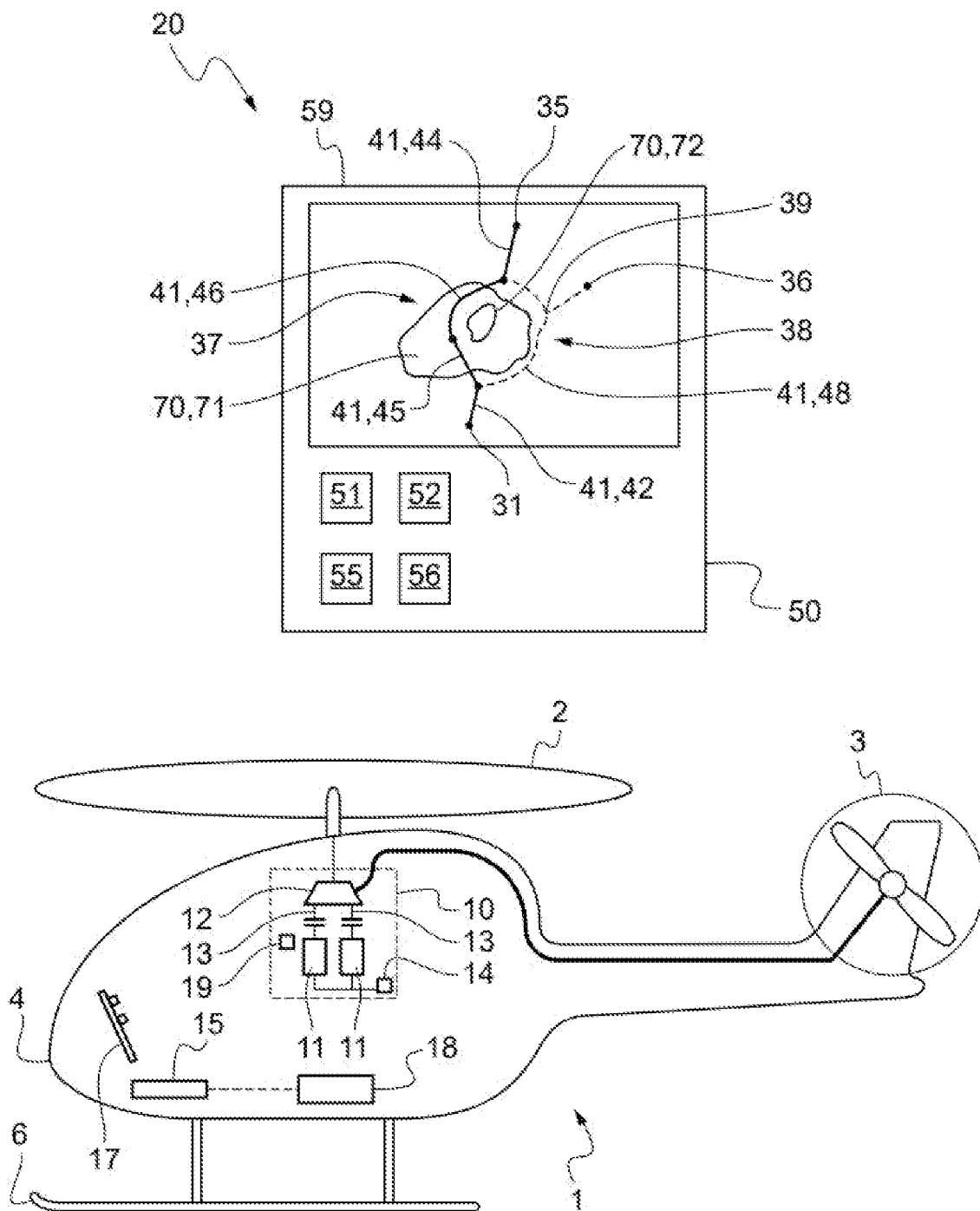
transmettre des caractéristiques dudit plan de vol et ladite route sélectionnée audit dispositif de réception (18) qui les transfère audit dispositif de gestion de vol (15).

[Revendication 15]

Aéronef (1),

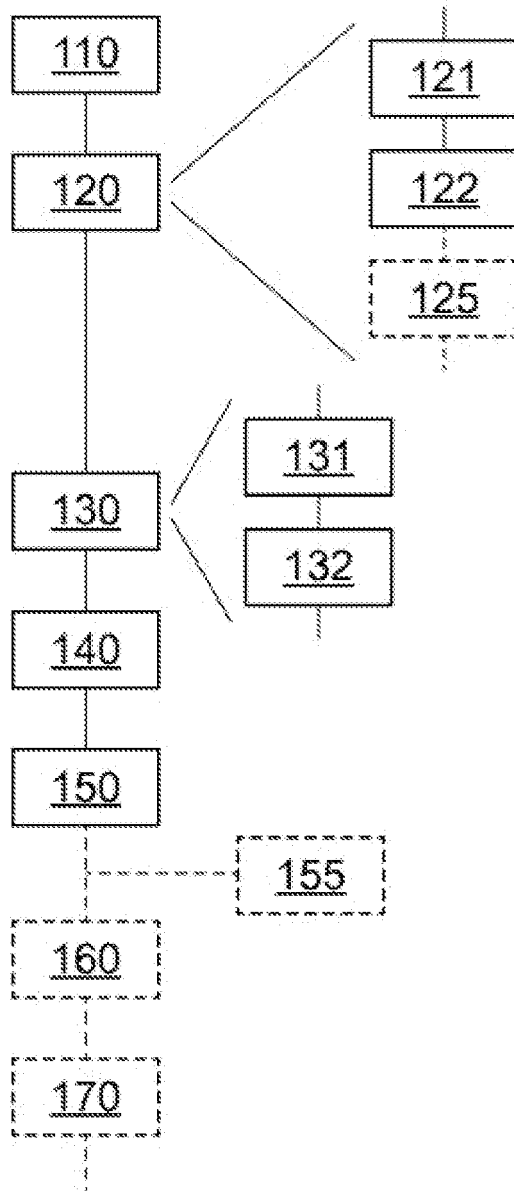
caractérisé en ce que ledit aéronef (1) comporte un système (50) de routage selon la revendication 13.

[Fig. 1]



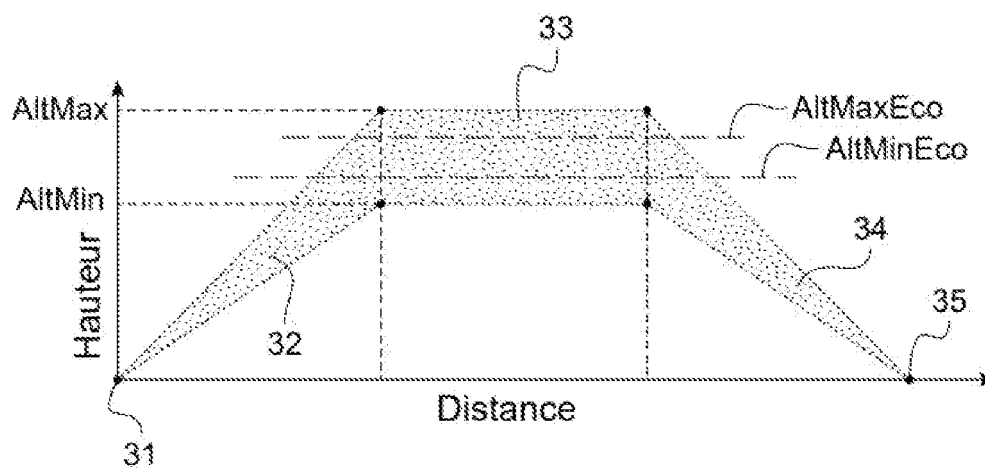
[Fig. 2]

Fig.2



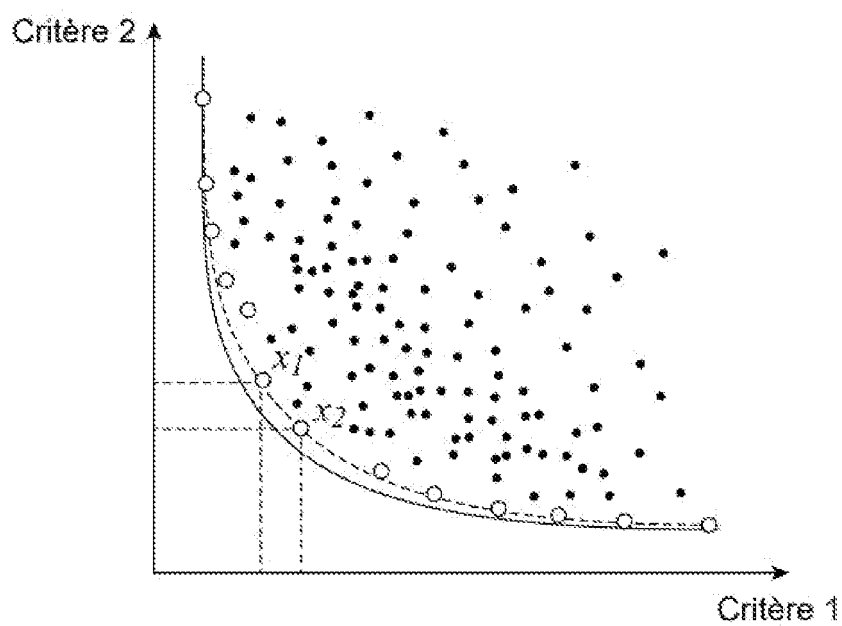
[Fig. 3]

Fig.3



[Fig. 4]

Fig.4



RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement
national

FA 919834
FR 2304721

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
A	US 2020/362753 A1 (BEAUCHESNE-MARTEL PHILIPPE [CA] ET AL) 19 novembre 2020 (2020-11-19) * Paragraphes [0019], [0020], [0022], [0023], [0042]-[0043], [0045], [0067]-[0068]; Figures 1A, 5. * -----	1-15	B64D 35/08 G01C 21/20 G01C 23/00 G05D 1/00 G08G 5/00
A	US 2022/122468 A1 (VILLA IAN ANDREAS [US] ET AL) 21 avril 2022 (2022-04-21) * Paragraphes [0002], [0030], [0056], [0064], [0065]; Figures 1, 4. * -----	1-15	
A	US 9 193 442 B1 (YOUNG SHIH-YIH [US] ET AL) 24 novembre 2015 (2015-11-24) * Colonne 2 lignes 24-54, colonne 9 lignes 38-47, Figures 5, 16. * -----	1-15	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			G05D G01C B64C B64D G06Q
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
8 décembre 2023		Roch, Vincent	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant			

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE **RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2304721 FA 919834**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.
 Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **08-12-2023**
 Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2020362753 A1	19-11-2020	CA 3079550 A1	15-11-2020
		EP 3738873 A1	18-11-2020
		US 2020362753 A1	19-11-2020

US 2022122468 A1	21-04-2022	US 2019340934 A1	07-11-2019
		US 2022122468 A1	21-04-2022

US 9193442 B1	24-11-2015	AUCUN	
