



(12) **DEMANDE DE BREVET CANADIEN
CANADIAN PATENT APPLICATION**

(13) **A1**

(86) **Date de dépôt PCT/PCT Filing Date:** 2022/12/13
(87) **Date publication PCT/PCT Publication Date:** 2023/06/22
(85) **Entrée phase nationale/National Entry:** 2024/06/12
(86) **N° demande PCT/PCT Application No.:** FR 2022/052330
(87) **N° publication PCT/PCT Publication No.:** 2023/111445
(30) **Priorité/Priority:** 2021/12/17 (FR FR2113833)

(51) **Cl.Int./Int.Cl. B64C 27/12** (2006.01)
(71) **Demandeur/Applicant:**
SAFRAN HELICOPTER ENGINES, FR
(72) **Inventeurs/Inventors:**
LEMAY, DAVID BERNARD MARTIN, FR;
MARIN, JEAN-PHILIPPE JACQUES, FR;
FREALLE, JEAN-LUC CHARLES GILBERT, FR
(74) **Agent:** FASKEN MARTINEAU DUMOULIN LLP

(54) **Titre : PROCÉDE DE REGULATION DE LA VITESSE DE ROTATION D'UN PROPULSEUR D'UN GROUPE PROPULSIF HYBRIDE POUR AERONEF, EN SITUATION DE PANNE DU SYSTEME DE REGULATION PRINCIPAL DU MOTEUR THERMIQUE DU GROUPE PROPULSIF HYBRID**
(54) **Title: METHOD FOR REGULATING THE SPEED OF ROTATION OF A PROPULSION DEVICE OF A HYBRID PROPULSION UNIT FOR AN AIRCRAFT, IN THE EVENT OF A FAILURE OF THE MAIN REGULATION SYSTEM OF THE HEATENGINE OF THE HYBRID PROPULSION UNI**

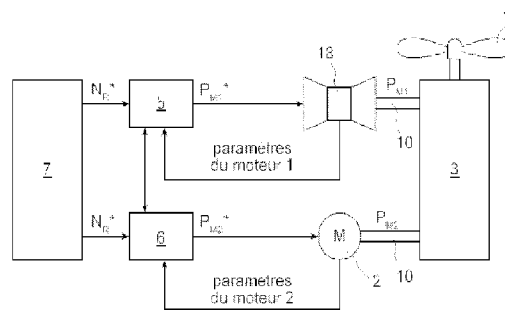


FIG. 1

(57) **Abrégé/Abstract:**

L'invention concerne un procédé de régulation de la vitesse d'un propulseur d'un groupe propulsif hybride pour aéronef comprenant : le propulseur et une boîte BTP; le moteur thermique et au moins un moteur électrique, montés en parallèle sur la BTP, le moteur thermique étant muni d'un circuit carburant; des systèmes de régulation principal et de secours du moteur thermique, et un système de régulation du moteur électrique, chacun étant apte à réguler la vitesse du moteur thermique ou électrique, respectivement; un système de contrôle de l'aéronef, apte à envoyer une consigne de vitesse ou de puissance à chacun des moyens de régulation du moteur thermique et du moteur électrique. Le procédé comprend, lorsque le système de régulation principal du moteur thermique est en panne et qu'il est figé sur une commande de débit de carburant Q_{CarbP}^* : - l'envoi d'une consigne de vitesse $N_{M2r\acute{e}f}$ au système de régulation du moteur électrique, le système de régulation du moteur électrique envoyant une commande de puissance $PM2^*$ au moteur électrique, moyennant quoi une puissance instantanée $PM2m$ du moteur électrique est obtenue; - simultanément, l'envoi d'une consigne de vitesse ou de puissance au système de régulation de secours du moteur thermique, le système de régulation de secours envoyant une commande de débit de carburant $Q_{CarbAux}^*$, au circuit carburant du moteur thermique, choisie pour faire varier le débit carburant Q_{Carb} injecté dans une chambre de combustion du moteur thermique selon que l'on souhaite faire varier la puissance $PM1$ du moteur thermique.

Date de soumission : 2024/06/12

No de la demande can. : 3240897

Abrégé:

L'invention concerne un procédé de régulation de la vitesse d'un propulseur d'un groupe propulsif hybride pour aéronef comprenant : le propulseur et une boîte BTP; le moteur thermique et au moins un moteur électrique, montés en parallèle sur la BTP, le moteur thermique étant muni d'un circuit carburant; des systèmes de régulation principal et de secours du moteur thermique, et un système de régulation du moteur électrique, chacun étant apte à réguler la vitesse du moteur thermique ou électrique, respectivement; un système de contrôle de l'aéronef, apte à envoyer une consigne de vitesse ou de puissance à chacun des moyens de régulation du moteur thermique et du moteur électrique. Le procédé comprend, lorsque le système de régulation principal du moteur thermique est en panne et qu'il est figé sur une commande de débit de carburant Q_{CarbP^*} : - l'envoi d'une consigne de vitesse $N_{M2réf}$ au système de régulation du moteur électrique, le système de régulation du moteur électrique envoyant une commande de puissance $PM2^*$ au moteur électrique, moyennant quoi une puissance instantanée $PM2m$ du moteur électrique est obtenue; - simultanément, l'envoi d'une consigne de vitesse ou de puissance au système de régulation de secours du moteur thermique, le système de régulation de secours envoyant une commande de débit de carburant $Q_{CarbAux^*}$, au circuit carburant du moteur thermique, choisie pour faire varier le débit carburant Q_{Carb} injecté dans une chambre de combustion du moteur thermique selon que l'on souhaite faire varier la puissance $PM1$ du moteur thermique.

Description

Titre : Procédé de régulation de la vitesse de rotation d'un propulseur d'un groupe propulsif hybride pour aéronef, en situation de panne du système de régulation principal du moteur thermique du groupe propulsif hybride

DOMAINE TECHNIQUE

La présente invention se rapporte aux groupes propulsifs hybrides parallèles pour aéronefs. L'invention s'applique plus particulièrement à des groupes de propulsion et de sustentation d'aéronefs à voilure fixe ou tournante (hélicoptère), ou d'aéronefs à décollage et atterrissage verticaux (VTOL de l'anglais « Vertical Take-Off and Landing aircraft »).
5 L'invention peut également s'appliquer à des architectures type multipropulseur.

ÉTAT DE LA TECHNIQUE ANTÉRIEURE

Dans un groupe propulsif hybride parallèle, les moyens de génération et de fourniture de puissance propulsive sont redondés pour permettre l'atterrissage de l'aéronef dans des conditions de sécurité satisfaisantes en cas de panne partielle d'une
10 chaîne de puissance.

Un exemple d'application caractéristique est un groupe propulsif hybride parallèle d'hélicoptère, composé d'un turbomoteur et d'une motorisation électrique entraînant tous les deux les rotors principaux et d'anti-couple.

15 Un exemple d'un tel groupe propulsif hybride parallèle est illustré dans la figure 1. Il comporte :

- une boîte de transmission principale 3 (ci-après BTP) ;
- un propulseur 4, relié à la BTP ; il peut par exemple s'agir d'un rotor, d'une hélice, d'une soufflante, etc. ;
- 20 - un moteur principal thermique (nommé moteur 18), relié à la BTP et disposé pour délivrer de la puissance mécanique P_{M1} à la BTP ;
- un moteur secondaire électrique (nommé moteur 2), relié à la BTP et disposé pour délivrer de la puissance mécanique P_{M2} à la BTP ;

- un système de régulation 5 du moteur 18 capable de réguler la vitesse de rotation du moteur 1 par le biais de la commande P_{M1^*} ;

- un système de régulation 6 du moteur 2 capable de réguler la vitesse de rotation du moteur 2 par le biais de la commande P_{M2^*} ;

5 - un système de contrôle de l'aéronef 7 pouvant communiquer avec les systèmes de régulation des deux moteurs pour leur envoyer des ordres de haut niveau, comme la consigne de vitesse de rotation N_R^* du propulseur à entraîner.

En fait, chaque système de régulation d'un moteur est capable de réguler la puissance mécanique délivrée par le moteur auquel il est relié, par le biais de la commande
10 P_{M1^*} , afin d'asservir la vitesse de rotation du moteur sur une consigne de vitesse N_R^* .

Chacun des moteurs est relié par un arbre 10 à la boîte de transmission principale 3, qui va transmettre la puissance du ou des moteurs au propulseur 4.

Les paramètres de chaque moteur (Paramètres du moteur 18 et Paramètres du moteur 2) sont envoyés à leurs systèmes de régulation respectifs.

15 L'architecture hybride parallèle telle que schématisée sur la figure 1 permet en premier lieu de palier à la panne du moteur principal thermique (moteur 18) et de réaliser un décollage et/ou un atterrissage d'urgence grâce à la puissance délivrée par le moteur auxiliaire électrique (moteur 2). Dans ce cas de panne, le moteur principal (moteur 18) a une panne qui ne lui permet plus de fournir de puissance à la boîte de transmission
20 principale. Un cas typique de ce type de panne est l'arrêt du moteur principal en vol, sans possibilité de le redémarrer. Le système de régulation 5 du moteur 18 en panne devient donc inopérant. La puissance délivrée à la BTP provient alors uniquement de la puissance délivrée par le moteur auxiliaire (moteur 2), cette puissance étant contrôlée par le système de régulation 6 du moteur 2, sous l'autorité du système de contrôle de l'aéronef 7.

25 Mais d'autres types de panne peuvent se produire. Dans le cadre de la présente invention, on s'intéresse aux pannes qui affectent le système de régulation 5 du moteur principal et qui ne lui permettent plus de contrôler la puissance délivrée par le moteur 18. Dans ce cas, le moteur 18 est en général toujours allumé et capable de délivrer de la puissance, mais celle-ci ne peut plus être régulée par le système de régulation 5 du moteur
30 18. On parle en général de panne totale de régulation.

Une stratégie connue dans le monde des turbines d'hélicoptère est alors de figer le débit de carburant injecté au moteur 18, afin de maintenir le moteur 18 en fonctionnement et de geler la puissance qu'il délivre. La panne est alors indiquée au système de contrôle de l'aéronef 7 et au pilote, afin qu'il réalise une manœuvre adéquate et un atterrissage d'urgence.

Avec un groupe propulsif hybride parallèle de l'art antérieur tel que présenté précédemment, le moteur auxiliaire 2 peut moduler la puissance complémentaire qu'il délivre au propulseur 4 et ainsi maintenir la vitesse de rotation du propulseur dans une plage acceptable.

Cependant, si la panne de régulation du moteur 18 arrive au moment où le moteur 18 délivre une puissance élevée, le moteur 2 ne pourra pas réduire la puissance délivrée au propulseur et le pilote devra volontairement arrêter le moteur principal pour pouvoir stabiliser l'hélicoptère et atterrir. Le pilote est donc dans l'obligation de réaliser un dégageement, puis un atterrissage d'urgence, en se privant de la puissance que peut encore fournir le moteur principal 18.

Il serait donc avantageux, en cas de panne du système de régulation 5 du moteur principal 18, de pouvoir moduler la puissance délivrée par le moteur principal afin de l'adapter aux besoins de l'aéronef, tout en régulant la vitesse de rotation du propulseur grâce au moteur auxiliaire 2. En d'autres termes, il serait avantageux de pouvoir continuer à réguler la vitesse de rotation du propulseur grâce aux deux moteurs, même en cas de panne du système de régulation du moteur 18.

EXPOSÉ DE L'INVENTION

Pour ce faire, l'invention a pour objet un procédé de régulation de la vitesse de rotation N_p d'un propulseur d'un groupe propulsif hybride pour aéronef, en situation de panne du système de régulation principal du moteur thermique du groupe propulsif hybride, le groupe propulsif hybride comprenant :

- le propulseur et une boîte de transmission principale, apte à entraîner le propulseur ;

- le moteur thermique et au moins un moteur électrique, montés en parallèle sur la boîte de transmission principale, le moteur thermique étant muni d'un circuit carburant apte à amener du carburant dans une chambre de combustion du moteur thermique ;

5 - un système de régulation principal du moteur thermique, apte à réguler la vitesse de rotation du moteur thermique ;

- un système de régulation de secours du moteur thermique, apte à réguler la vitesse de rotation du moteur thermique lorsque le système de régulation principal est en panne ;

10 - un système de régulation du moteur électrique, apte à réguler la vitesse de rotation du moteur électrique ;

- un système de contrôle de l'aéronef, apte à envoyer une consigne de vitesse ou de puissance à chacun des moyens de régulation du moteur thermique et du moteur électrique ;

15 le procédé comprenant, lorsque le système de régulation principal du moteur thermique est en panne et que ledit système est figé sur une commande de débit de carburant Q_{CarbP}^* , les étapes consistant à :

20 - envoyer une consigne de vitesse $N_{M2réf}$ au système de régulation du moteur électrique, pour que le système de régulation du moteur électrique envoie une commande de puissance P_{M2}^* au moteur électrique, moyennant quoi une puissance instantanée P_{M2m} du moteur électrique est obtenue ;

25 - simultanément, envoyer une consigne de vitesse de rotation ou de puissance au système de régulation de secours du moteur thermique, pour que le système de régulation de secours envoie une commande de débit de carburant $Q_{CarbAux}^*$ au circuit carburant du moteur thermique, la commande $Q_{CarbAux}^*$ étant choisie de manière à faire varier le débit carburant Q_{Carb} injecté dans la chambre de combustion du moteur thermique selon que l'on souhaite augmenter ou diminuer la puissance P_{M1} du moteur thermique.

La commande de débit de carburant Q_{CarbP}^* correspond à la dernière commande de puissance P_{M1}^* obtenue avant la panne totale du système de régulation principal.

30 Selon un mode de réalisation de l'invention, une consigne de puissance de référence du moteur électrique $P_{M2réf}^*$ étant envoyée au système de régulation de secours

du moteur thermique, la commande de débit de carburant Q_{CarbAux^*} est choisie en comparant la puissance instantanée P_{M2m} du moteur électrique à la puissance de référence $P_{M2\text{réf}}$ et

5 - si $P_{M2m} < P_{M2\text{réf}}$, on commande un débit de carburant auxiliaire Q_{CarbAux^*} tel qu'il réduit le débit carburant Q_{Carb} injecté dans la chambre de combustion du moteur thermique, diminuant ainsi la puissance P_{M1} du moteur thermique ;

- si $P_{M2m} > P_{M2\text{réf}}$, on commande un débit de carburant auxiliaire Q_{CarbAux^*} tel qu'il augmente le débit carburant Q_{Carb} injecté dans la chambre de combustion du moteur thermique, augmentant ainsi la puissance P_{M1} du moteur thermique ;

10 - si $P_{M2m} = P_{M2\text{réf}}$, on maintient la commande de débit Q_{CarbAux^*} constante.

La puissance de référence $P_{M2\text{réf}}$ est choisie pour moduler la puissance délivrée par le moteur thermique avec une marge de pilotage suffisante.

Le terme de « marge de pilotage » fait référence à l'autorité maximum du moteur électrique pour faire varier la puissance totale délivrée au propulseur autour de la puissance moyenne délivrée par le moteur thermique. En d'autres termes, le moteur électrique et sa chaîne de puissance (électronique de puissance, batterie s'il est alimenté par ce moyen) sont limités par conception dans une plage de puissance bornée. Cette plage peut être uniquement positive ou s'étendre aussi dans un domaine négatif si la chaîne de puissance du moteur électrique est capable de prélever de la puissance sur la boîte de transmission principale (par exemple en rechargeant la batterie). Le choix de $P_{M2\text{réf}}$ permet donc d'ajuster la puissance moyenne à la laquelle le moteur électrique va travailler dans son domaine opérationnel. Un exemple de choix judicieux est de positionner $P_{M2\text{réf}}$ au milieu de la plage du moteur électrique pour qu'en cas de variation rapide (positive ou négative) de besoin en puissance du propulseur, le moteur électrique ait le maximum d'autorité pour s'adapter à ce besoin. Cela permet de maximiser les performances de régulation de la vitesse de rotation du propulseur.

25 Selon un autre mode de réalisation de l'invention, une consigne de vitesse de rotation $N_{M1\text{réf}}$ étant envoyée au système de régulation de secours du moteur thermique, on mesure la vitesse instantanée N_{M1m} du moteur thermique et on la compare à la consigne de vitesse de rotation $N_{M1\text{réf}}$:

- si $N_{M1réf} < N_{M1m}$, on commande un débit de carburant auxiliaire $Q_{CarbAux}^*$ tel qu'il réduit le débit carburant Q_{Carb} injecté dans la chambre de combustion du moteur thermique, diminuant ainsi la puissance P_{M1} du moteur thermique ;

5 - si $N_{M1réf} > N_{M1m}$, on commande un débit de carburant auxiliaire $Q_{CarbAux}^*$ tel qu'il augmente le débit carburant Q_{Carb} injecté dans la chambre de combustion du moteur thermique, augmentant ainsi la puissance P_{M1} du moteur thermique ; et

- si $N_{M1réf} = N_{M1m}$, on maintient la commande de débit $Q_{CarbAux}^*$ constante ;

et simultanément, on compare la puissance instantanée P_{M2m} du moteur électrique à la puissance de référence $P_{M2réf}$ et

10 - si $P_{M2m} < P_{M2réf}$, la consigne de vitesse de rotation du moteur thermique $N_{M1réf}$ est réduite ;

- si $P_{M2m} > P_{M2réf}$, la consigne de vitesse de rotation du moteur thermique $N_{M1réf}$ est rehaussée.

15 L'invention concerne également un dispositif de régulation de la vitesse de rotation (N_p) d'un propulseur d'un groupe propulsif hybride pour aéronef, en situation de panne du système de régulation principal du moteur thermique du groupe propulsif hybride, le groupe propulsif hybride comprenant :

- le propulseur et une boîte de transmission principale, apte à entraîner le propulseur ;

20 - le moteur thermique et au moins un moteur électrique, montés en parallèle sur la boîte de transmission principale, le moteur thermique étant muni d'un circuit carburant apte à amener du carburant dans une chambre de combustion du moteur thermique ;

- un système de régulation principal du moteur thermique, apte à réguler la vitesse de rotation du moteur thermique ;

25 - un système de régulation de secours du moteur thermique, apte à réguler la vitesse de rotation du moteur thermique lorsque le système de régulation principal est en panne ;

- un système de régulation du moteur électrique, apte à réguler la vitesse de rotation du moteur électrique ;

- un système de contrôle de l'aéronef, apte à envoyer une consigne de vitesse ou de puissance à chacun des moyens de régulation du moteur thermique et du moteur électrique ;

le dispositif comprenant en outre, lorsque le système de régulation principal du moteur thermique est en panne et que ledit système est figé sur une commande de débit de carburant Q_{CarbP}^* , des moyens configurés pour :

- envoyer une consigne de vitesse $N_{M2\text{réf}}$ au système de régulation du moteur électrique, pour que le système de régulation du moteur électrique envoie une commande de puissance P_{M2}^* au moteur électrique, moyennant quoi une puissance instantanée P_{M2m} du moteur électrique est obtenue ;

- simultanément, envoyer une consigne de vitesse de rotation ou de puissance au système de régulation de secours du moteur thermique, pour que le système de régulation de secours envoie une commande de débit de carburant Q_{CarbAux}^* au circuit carburant du moteur thermique, la commande Q_{CarbAux}^* étant choisie de manière à faire varier le débit carburant Q_{Carb} injecté dans la chambre de combustion du moteur thermique selon que l'on souhaite augmenter ou diminuer la puissance P_{M1} du moteur thermique.

Selon une variante, une consigne de puissance de référence du moteur électrique $P_{M2\text{réf}}^*$ étant envoyée au système de régulation de secours du moteur thermique, la commande de débit de carburant Q_{CarbAux}^* est choisie en comparant la puissance instantanée P_{M2m} du moteur électrique à la puissance de référence $P_{M2\text{réf}}$, et dans lequel le dispositif comprend des moyens configurés pour :

- si $P_{M2m} < P_{M2\text{réf}}$, commander un débit de carburant auxiliaire Q_{CarbAux}^* tel qu'il réduit le débit carburant Q_{Carb} injecté dans la chambre de combustion du moteur thermique, diminuant ainsi la puissance P_{M1} du moteur thermique ;

- si $P_{M2m} > P_{M2\text{réf}}$, commander un débit de carburant auxiliaire Q_{CarbAux}^* tel qu'il augmente le débit carburant Q_{Carb} injecté dans la chambre de combustion du moteur thermique, augmentant ainsi la puissance P_{M1} du moteur thermique ;

- si $P_{M2m} = P_{M2\text{réf}}$, maintenir la commande de débit Q_{CarbAux}^* constante.

Selon une autre variante, une consigne de vitesse de rotation $N_{M1\text{réf}}$ étant envoyée au système de régulation de secours du moteur thermique, on mesure la vitesse

instantanée N_{M1m} du moteur thermique et on la compare à la consigne de vitesse de rotation $N_{M1réf}$ et dans lequel le dispositif comprend des moyens configurés pour :

- si $N_{M1réf} < N_{M1m}$, commander un débit de carburant auxiliaire $Q_{CarbAux}^*$ tel qu'il réduit le débit carburant Q_{Carb} injecté dans la chambre de combustion du moteur thermique, diminuant ainsi la puissance P_{M1} du moteur thermique ;

- si $N_{M1réf} > N_{M1m}$, commander un débit de carburant auxiliaire $Q_{CarbAux}^*$ tel qu'il augmente le débit carburant Q_{Carb} injecté dans la chambre de combustion du moteur thermique, augmentant ainsi la puissance P_{M1} du moteur thermique ; et

- si $N_{M1réf} = N_{M1m}$, maintenir la commande de débit $Q_{CarbAux}^*$ constante ;

et simultanément, comparer la puissance instantanée P_{M2m} du moteur électrique à la puissance de référence $P_{M2réf}$ et

- si $P_{M2m} < P_{M2réf}$, réduire la consigne de vitesse de rotation du moteur thermique $N_{M1réf}$;

- si $P_{M2m} > P_{M2réf}$, rehausser la consigne de vitesse de rotation du moteur thermique $N_{M1réf}$.

L'invention concerne également un produit programme d'ordinateur comprenant des instructions qui, lorsque le programme est exécuté par un ordinateur, conduisent celui-ci à mettre en œuvre le procédé tel que décrit ci-dessus.

BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

D'autres aspects, buts, avantages et caractéristiques de l'invention apparaîtront mieux à la lecture de la description détaillée suivante de formes de réalisation préférées de celle-ci, donnée à titre d'exemple non limitatif, et faite en référence aux dessins annexés sur lesquels :

- la figure 1 représente un exemple d'une architecture hybride parallèle selon l'art antérieur ;

- la figure 2 représente un exemple d'une architecture hybride parallèle utilisée par le procédé selon l'invention ;

- la figure 3 représente un détail de l'architecture hybride parallèle utilisée par le procédé selon l'invention dans un mode de réalisation ;

- la figure 4 représente un détail de l'architecture hybride parallèle utilisée par le procédé selon l'invention dans un autre mode de réalisation.

EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS

La solution proposée par l'invention est une architecture de contrôle de la vitesse de rotation d'un propulseur, qui permet de continuer à moduler la puissance délivrée par les deux moteurs, malgré la panne du système de régulation principal du moteur thermique.

Cette solution peut s'appliquer à tout groupe propulsif hybride parallèle où au moins un moteur électrique et au moins un moteur thermique (par exemple une turbine à gaz) entraînent, en parallèle, une boîte de transmission vers un propulseur, qui peut être, par exemple, un rotor, une hélice de turbopropulseur, ou une soufflante de turboréacteur. Cette architecture peut par exemple permettre de contrôler la vitesse de rotation d'un rotor d'hélicoptère.

La méthode de modulation de la puissance du moteur 1 selon l'invention n'est pas limitative en termes d'implémentation physique des différents systèmes de régulation.

Une implémentation particulièrement avantageuse de l'invention, mais non limitative, est décrite dans la figure 2.

Dans la figure 2, le groupe propulsif hybride parallèle comporte, comme dans la figure 1, une boîte de transmission principale 3, un propulseur 4, un moteur principal thermique (moteur 1), un moteur secondaire électrique (moteur 2), un système de régulation 6 du moteur 2, et un système de contrôle 7 de l'aéronef.

À la différence de la figure 1 de l'art antérieur, le système de régulation 5 du moteur 1 est ici remplacé par un système de régulation principal 51 du moteur 1 capable de réguler la vitesse de rotation du moteur 1 en modulant la puissance délivrée par le moteur 1 à travers la commande de débit carburant principal Q_{CarbP^*} envoyée au circuit carburant 8 du moteur 1. Cette commande de débit carburant principal Q_{CarbP^*} fait varier le débit carburant Q_{Carb} qui est injecté dans la chambre de combustion du moteur 1. Il est à noter que les références 1 (moteur thermique) et 8 (circuit carburant) de la figure 2 correspondent, avec un niveau de détails plus précis, à la référence 18 de la figure 1 (le

moteur thermique 18 de la figure 1 comprenant un circuit carburant qui n'est pas représenté).

Il y a également un système de régulation de secours 52 du moteur 1 capable de moduler la puissance P_{M1} délivrée par le moteur 1, en commandant un débit carburant
5 auxiliaire $Q_{CarbAux}^*$. Le système de régulation de secours 52 du moteur 1 est indépendant du système de régulation principal 51, de sorte qu'une panne du système principal 51 n'affecte pas en même temps le système de secours 52.

La commande de débit carburant auxiliaire $Q_{CarbAux}^*$ peut indifféremment augmenter ou diminuer le débit carburant Q_{Carb} , qui est délivré par le circuit carburant 8
10 du moteur 1 et qui est injecté dans la chambre de combustion du moteur 1. Ce débit carburant auxiliaire vient donc s'ajouter ou se retrancher du débit carburant Q_{Carb} commandé par le système de régulation principal 51.

La modulation du débit carburant Q_{Carb} , à la hausse ou à la baisse par rapport à la valeur figée Q_{CarbP}^* , peut être réalisée par un organe électro-hydraulique situé dans le
15 circuit carburant 8 du moteur 1, que l'on appelle « vanne de dosage auxiliaire ». Un organe électro-hydraulique (« vanne de dosage principal »), lui aussi situé dans le circuit carburant 8 du moteur 1, module lui aussi le débit carburant Q_{Carb} , sauf lorsque le système de régulation du moteur 1 tombe en panne et que la commande Q_{CarbP}^* est bloquée. L'architecture du circuit et la présence de la vanne de dosage auxiliaire permettent
20 d'augmenter ou de diminuer le débit initialement figé par la vanne de dosage principal. Il y a donc deux organes hydrauliques différents, respectivement pour le dosage principal et auxiliaire.

Le système de régulation de secours 52 du moteur 1 est indépendant du système de régulation principal 51, de sorte qu'une panne du système de régulation principal 51
25 n'affecte pas en même temps l'autre système.

De façon privilégiée, mais non limitative (et comme représenté dans la figure 2), le système de régulation principal 51 du moteur 1 peut échanger des informations avec le système de régulation 6 du moteur 2, afin de coordonner la puissance délivrée par chacun des moteurs lorsqu'ils fonctionnent simultanément. Selon cette réalisation particulière, le

système de régulation principal 51 du moteur 1 peut agir sur la puissance délivrée par le moteur 2.

Selon l'architecture représentée dans la figure 2, en cas de panne totale du système de régulation principal 51 du moteur 1, la commande de débit carburant principal Q_{CarbP}^* est figée, mais le système de contrôle de l'aéronef 7 peut continuer à réguler la vitesse de rotation du propulseur, quelle que soit la puissance affichée par le moteur 1 au moment de la panne, grâce :

- au moteur 2 et à son système de régulation 6 dédié ; et
- au système de régulation de secours 52 du moteur 1.

On fait l'hypothèse que, du fait de la panne du système de régulation principal 51 du moteur 1, plus aucune information traitée par le système de régulation principal 51 n'est disponible. En particulier, la mesure de la puissance délivrée par le moteur 1 P_{M1} , au moment où le débit carburant principal Q_{CarbP} a été figé, n'est pas disponible.

Cette régulation de secours du moteur 1 au moyen du système de régulation de secours 52 peut offrir des performances dégradées par rapport au système de régulation principal 51, en particulier en matière de dynamiques de régulation de la puissance.

Aussi, dans cette situation de panne, le contrôle de la vitesse de rotation du propulseur peut être réalisé de façon privilégiée selon le mode de réalisation suivant.

On configure le système de régulation de secours 52 du moteur 1 pour qu'il assure une modulation lente de la puissance délivrée par le moteur 1. Pour ce faire, le système de régulation de secours 52 module la commande de débit carburant auxiliaire $Q_{CarbAux}^*$ de façon à ce que le moteur 1 délivre une puissance P_{M1} adaptée, qui peut être inférieure aux besoins en puissance du propulseur. Le système de régulation de secours 52 adapte ainsi de manière « grossière » la puissance délivrée par le moteur 1 à la situation de vol de l'aéronef (par exemple, dans le cas d'un hélicoptère, montée, croisière, descente, etc.).

En parallèle, et simultanément, le système de régulation 6 du moteur 2 fait varier rapidement et au juste besoin la puissance P_{M2} délivrée par le moteur 2 en régulant « finement » la vitesse de rotation du propulseur. La puissance délivrée par le moteur 2 P_{M2} s'ajoute alors à celle délivrée par le moteur 1 P_{M1} pour satisfaire les besoins du propulseur.

La puissance totale délivrée au propulseur profite ainsi de la dynamique rapide du moteur 2 pour répondre aux besoins de variations de puissances instantanées du propulseur.

Le caractère « lent » de l'adaptation en temps réel de la commande Q_{CarbAux}^* permet au moteur 2 (plus rapide que le moteur 1) de parfaitement compenser la puissance additionnelle apportée au rotor avec la commande P_{M2}^* . Le fait que les variations du moteur 1 soient « lentes » permet d'éviter des risques de perturbations dynamiques entre la régulation des deux moteurs, ce qui générerait des oscillations de puissance et/ou de vitesse du propulseur 4, néfastes pour le pilotage.

La modulation lente de la puissance délivrée par le moteur 1 P_{M1} peut être réalisée en déterminant les besoins en puissance de l'aéronef. Pour ce faire, cette détermination peut se baser sur un ou plusieurs éléments listés ci-dessous et de façon non limitative :

- une commande ou une mesure de pas collectif de l'aéronef ;
- une information d'anticipation de puissance venant de l'aéronef ;
- la puissance délivrée par le moteur 2 P_{M2} , moyennée sur une certaine durée ;
- toute autre information permettant d'estimer le niveau moyen de besoin en

puissance du propulseur.

Une solution avantageuse pour moduler la puissance du moteur 1 P_{M1} est décrite dans la figure 3. Elle consiste à réguler la vitesse de rotation du propulseur à travers la régulation de la vitesse de rotation N_{M2} du moteur 2. Cette régulation peut être « rapide », afin de faire varier efficacement la puissance délivrée au propulseur autour d'une puissance moyenne.

La puissance instantanée du moteur 2 P_{M2m} , nécessaire au maintien de la vitesse de rotation du propulseur sur sa consigne, est utilisée par le système de régulation de secours du moteur 1 pour la comparer à une puissance de référence $P_{M2\text{réf}}$ choisie par conception pour garantir une marge de pilotage satisfaisante. Ainsi :

- si la puissance instantanée délivrée par le moteur 2 P_{M2m} est inférieure à la puissance de référence $P_{M2\text{réf}}$, le système de régulation de secours du moteur 1 commande un débit carburant auxiliaire Q_{CarbAux}^* tel qu'il réduit le débit carburant Q_{Carb} injecté dans la chambre de combustion du moteur 1 ;

- inversement, si la puissance instantanée délivrée par le moteur 2 P_{M2m} est supérieure à la puissance de référence $P_{M2réf}$, le système de régulation de secours 52 commande un débit carburant auxiliaire $Q_{CarbAux}^*$ tel qu'il augmente le débit carburant Q_{Carb} injecté dans la chambre de combustion du moteur 1, augmentant ainsi la puissance du moteur 1.

$Q_{CarbAux}^*$ est une commande de débit carburant auxiliaire du moteur 1 qui est adaptée aux besoins moyens du propulseur. Cette commande $Q_{CarbAux}^*$ peut être négative, afin de diminuer la puissance du moteur 1 en dessous de la puissance qu'il affichait au moment de la panne du système de régulation principal 51, ou positive.

On note que cette méthode de modulation lente de la puissance délivrée par le moteur 1 selon ce mode de réalisation n'utilise aucune information sur l'état du moteur 1. Ce mode de réalisation ne nécessite donc pas de moyen de mesure dédié au système de secours.

Cette modulation lente de la puissance délivrée par le moteur 1 P_{M1} a pour objectif de maintenir la puissance moyenne délivrée par le moteur 2 à un niveau choisi, par exemple au milieu de la plage de puissance du moteur 2. Ce choix permet de maximiser l'amplitude de variation rapide de la puissance du propulseur. La régulation de la puissance du moteur 1 doit être suffisamment lente pour à la fois :

- être compatible avec le fonctionnement du système de régulation de secours du moteur 1 ; et

- que la modulation de la puissance du moteur 1 ne perturbe pas la régulation de vitesse de rotation du moteur 2.

Les principaux avantages de cette méthode de modulation lente de la puissance délivrée par le moteur 1 proposée dans le cadre de l'invention sont :

- de pouvoir maintenir le moteur principal (ici, le moteur 1) en fonctionnement, quel que soit le niveau de puissance auquel il est au moment où la panne du système de régulation principal apparaît ;

- d'offrir le maximum de marge en puissance au pilote pour réaliser la fin du vol jusqu'à l'atterrissage, ce qui garantit le maximum de sécurité ;

- de garantir la stabilité de la régulation de la vitesse de rotation du propulseur grâce au découplage fréquentiel entre les deux moteurs, à savoir la modulation lente de la puissance du moteur 1 et la régulation rapide de la vitesse de rotation par le moteur 2 ;

5 - de minimiser la puissance demandée au moteur 2, ce qui minimise aussi la puissance prélevée sur la batterie qui l'alimente et augmente ainsi son autonomie. Cet aspect a deux intérêts, à savoir, d'une part, de permettre au pilote d'avoir plus de temps, et donc une distance franchissable plus importante, pour réaliser l'atterrissage d'urgence (intérêt sécuritaire) et, d'autre part, l'autonomie offerte peut également permettre au pilote de terminer son vol jusqu'à rejoindre son point d'arrivée prévu, ou de revenir se
10 poser sur la base de départ afin de pouvoir réaliser les opérations de maintenance nécessaires (intérêt opérationnel).

Comme précisé précédemment, la méthode de modulation de la puissance du moteur 1 telle que décrite dans la figure 3 est une implémentation particulièrement
15 avantageuse, mais non limitative et elle peut prendre différentes formes. En effet, l'invention proposée n'est pas limitative en termes d'implémentation physique des différents systèmes de régulation cités précédemment.

Ainsi, le système de régulation de secours 52 du moteur 1 peut par exemple faire partie du moteur 1 lui-même ou être intégré dans le système de contrôle 7 de l'aéronef.

20 La régulation de la vitesse de rotation du propulseur en situation de panne du système de régulation principal 51 du moteur 1 peut, quant à elle, être implémentée par exemple dans le système de régulation du moteur 2 ou dans le système de contrôle de l'aéronef.

Le système de régulation 6 du moteur 2 peut lui-même faire partie (partiellement ou totalement) du système de contrôle 7 de l'aéronef.

25 Parmi les autres formes d'implémentation évoquées ci-dessus, on peut présenter le mode de réalisation décrit dans la figure 4. Ici, le système de régulation de secours 52 du moteur 1 régule la vitesse de rotation du moteur 1 sur la consigne $N_{M1\text{réf}}$. Pour ce faire, il utilise une chaîne de mesure de vitesse de rotation 9 de la turbine libre du moteur 1, qui est indépendante des éventuels moyens de mesure du système de régulation principal 51
30 et qui mesure la vitesse de rotation du moteur 1 N_{M1} . Selon un autre mode de réalisation

non représenté, on peut également utiliser une chaîne de mesure de vitesse de rotation du propulseur 4.

À la différence des turbomoteurs classiques (sans hybridation parallèle), la consigne de vitesse de rotation $N_{M1réf}$ est, dans ce mode de réalisation, régulée en fonction de la puissance instantanée délivrée par le moteur 2 P_{M2m} , afin de maintenir celle-ci à un niveau souhaité, selon les mêmes critères de choix que le mode de réalisation décrit dans la figure 3.

Ainsi :

- lorsque la puissance instantanée du moteur 2 P_{M2m} est supérieure au niveau désiré (puissance de référence $P_{M2réf}$), la consigne de vitesse de rotation du moteur 1 $N_{M1réf}$ est rehaussée afin que le moteur 1 délivre plus de puissance ;

- et inversement, lorsque la puissance instantanée du moteur 2 P_{M2m} est trop basse, la consigne de vitesse de rotation du moteur 1 $N_{M1réf}$ est réduite, de sorte que le moteur 1 délivre moins de puissance.

Dans la figure 4, la régulation de la consigne de vitesse du moteur 1 se fait dans le système de contrôle 7 de l'aéronef.

La comparaison entre P_{M2m} et $P_{M2réf}$ est ici faite dans le bloc 7 « Modulation de la consigne de vitesse du moteur 1 » de la figure 4. Le schéma de comparaison est le même que le bloc 52 de la figure 3, à la différence que la sortie est la consigne de vitesse de rotation du moteur 1 $N_{M1réf}$, au lieu d'être la commande de débit auxiliaire $Q_{CarbAux}^*$.

La comparaison entre $N_{M1réf}$ et N_{M1} est l'opération qui permet de déterminer la commande de débit auxiliaire $Q_{CarbAux}^*$. Le mode de réalisation illustré dans la figure 4 est moins direct que celui de la figure 3 puisqu'il fait intervenir deux boucles de régulation imbriquées : une première boucle en puissance P_{M2} qui génère la consigne $N_{M1réf}$, et une deuxième boucle en vitesse pour finalement générer la commande de débit auxiliaire $Q_{CarbAux}^*$. Ce mode de réalisation présente l'avantage qu'il permet d'utiliser le système de régulation de secours du moteur 1 (le bloc 52 de la figure 4).

Il est à noter que certains éléments qui sont présents dans la figure 2 n'ont pas été représentés dans les figures 3 et 4, par exemple le système de contrôle de l'aéronef dans la figure 3, et le système de régulation principal du moteur 1 dans les figures 3 et 4. Ces

éléments sont bien présents dans le groupe propulsif hybride selon l'invention, mais n'ont pas été représentés afin de faciliter la lecture des figures 3 et 4.

Revendications

1. Procédé de régulation de la vitesse de rotation (N_p) d'un propulseur d'un groupe propulsif hybride pour aéronef, en situation de panne du système de régulation principal du moteur thermique du groupe propulsif hybride, le groupe propulsif hybride comprenant :

5 - le propulseur et une boîte de transmission principale, apte à entraîner le propulseur ;

10 - le moteur thermique et au moins un moteur électrique, montés en parallèle sur la boîte de transmission principale, le moteur thermique étant muni d'un circuit carburant apte à amener du carburant dans une chambre de combustion du moteur thermique ;

- un système de régulation principal du moteur thermique, apte à réguler la vitesse de rotation du moteur thermique ;

15 - un système de régulation de secours du moteur thermique, apte à réguler la vitesse de rotation du moteur thermique lorsque le système de régulation principal est en panne ;

- un système de régulation du moteur électrique, apte à réguler la vitesse de rotation du moteur électrique ;

20 - un système de contrôle de l'aéronef, apte à envoyer une consigne de vitesse ou de puissance à chacun des moyens de régulation du moteur thermique et du moteur électrique ;

le procédé comprenant, lorsque le système de régulation principal du moteur thermique est en panne et que ledit système est figé sur une commande de débit de carburant Q_{CarbP^*} , les étapes consistant à :

25 - envoyer une consigne de vitesse $N_{M2r\acute{e}f}$ au système de régulation du moteur électrique, pour que le système de régulation du moteur électrique envoie une commande de puissance P_{M2^*} au moteur électrique, moyennant quoi une puissance instantanée P_{M2m} du moteur électrique est obtenue ;

- simultanément, envoyer une consigne de vitesse de rotation ou de puissance au système de régulation de secours du moteur thermique, pour que le système de régulation

de secours envoie une commande de débit de carburant $Q_{CarbAux}^*$ au circuit carburant du moteur thermique, la commande $Q_{CarbAux}^*$ étant choisie de manière à faire varier le débit carburant Q_{Carb} injecté dans la chambre de combustion du moteur thermique selon que l'on souhaite faire varier la puissance P_{M1} du moteur thermique.

5

2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel, une consigne de puissance de référence du moteur électrique $P_{M2réf}^*$ étant envoyée au système de régulation de secours du moteur thermique, la commande de débit de carburant $Q_{CarbAux}^*$ est choisie en comparant la puissance instantanée P_{M2m} du moteur électrique à la puissance de référence $P_{M2réf}$ et

10

- si $P_{M2m} < P_{M2réf}$, on commande un débit de carburant auxiliaire $Q_{CarbAux}^*$ tel qu'il réduit le débit carburant Q_{Carb} injecté dans la chambre de combustion du moteur thermique, diminuant ainsi la puissance P_{M1} du moteur thermique ;

15

- si $P_{M2m} > P_{M2réf}$, on commande un débit de carburant auxiliaire $Q_{CarbAux}^*$ tel qu'il augmente le débit carburant Q_{Carb} injecté dans la chambre de combustion du moteur thermique, augmentant ainsi la puissance P_{M1} du moteur thermique ;

- si $P_{M2m} = P_{M2réf}$, on maintient la commande de débit $Q_{CarbAux}^*$ constante.

20

3. Procédé selon la revendication 1, dans lequel une consigne de vitesse de rotation $N_{M1réf}$ étant envoyée au système de régulation de secours du moteur thermique, on mesure la vitesse instantanée N_{M1m} du moteur thermique et on la compare à la consigne de vitesse de rotation $N_{M1réf}$:

25

- si $N_{M1réf} < N_{M1m}$, on commande un débit de carburant auxiliaire $Q_{CarbAux}^*$ tel qu'il réduit le débit carburant Q_{Carb} injecté dans la chambre de combustion du moteur thermique, diminuant ainsi la puissance P_{M1} du moteur thermique ;

- si $N_{M1réf} > N_{M1m}$, on commande un débit de carburant auxiliaire $Q_{CarbAux}^*$ tel qu'il augmente le débit carburant Q_{Carb} injecté dans la chambre de combustion du moteur thermique, augmentant ainsi la puissance P_{M1} du moteur thermique ; et

- si $N_{M1réf} = N_{M1m}$, on maintient la commande de débit $Q_{CarbAux}^*$ constante ;

et simultanément, on compare la puissance instantanée P_{M2m} du moteur électrique à la puissance de référence $P_{M2réf}$ et

- si $P_{M2m} < P_{M2réf}$, la consigne de vitesse de rotation du moteur thermique $N_{M1réf}$ est réduite ;

5 - si $P_{M2m} > P_{M2réf}$, la consigne de vitesse de rotation du moteur thermique $N_{M1réf}$ est rehaussée.

4. Dispositif de régulation de la vitesse de rotation (N_p) d'un propulseur d'un groupe propulsif hybride pour aéronef, en situation de panne du système de régulation principal du moteur thermique du groupe propulsif hybride, le groupe propulsif hybride
10 comprenant :

- le propulseur et une boîte de transmission principale, apte à entraîner le propulseur ;

15 - le moteur thermique et au moins un moteur électrique, montés en parallèle sur la boîte de transmission principale, le moteur thermique étant muni d'un circuit carburant apte à amener du carburant dans une chambre de combustion du moteur thermique ;

- un système de régulation principal du moteur thermique, apte à réguler la vitesse de rotation du moteur thermique ;

20 - un système de régulation de secours du moteur thermique, apte à réguler la vitesse de rotation du moteur thermique lorsque le système de régulation principal est en panne ;

- un système de régulation du moteur électrique, apte à réguler la vitesse de rotation du moteur électrique ;

25 - un système de contrôle de l'aéronef, apte à envoyer une consigne de vitesse ou de puissance à chacun des moyens de régulation du moteur thermique et du moteur électrique ;

le dispositif comprenant en outre, lorsque le système de régulation principal du moteur thermique est en panne et que ledit système est figé sur une commande de débit de carburant Q_{CarbP^*} , des moyens configurés pour :

- envoyer une consigne de vitesse $N_{M2r\acute{e}f}$ au système de régulation du moteur électrique, pour que le système de régulation du moteur électrique envoie une commande de puissance P_{M2}^* au moteur électrique, moyennant quoi une puissance instantanée P_{M2m} du moteur électrique est obtenue ;

5 - simultanément, envoyer une consigne de vitesse de rotation ou de puissance au système de régulation de secours du moteur thermique, pour que le système de régulation de secours envoie une commande de débit de carburant $Q_{CarbAux}^*$ au circuit carburant du moteur thermique, la commande $Q_{CarbAux}^*$ étant choisie de manière à faire varier le débit carburant Q_{Carb} injecté dans la chambre de combustion du moteur thermique selon
10 que l'on souhaite augmenter ou diminuer la puissance P_{M1} du moteur thermique.

5. Dispositif selon la revendication 4, dans lequel, une consigne de puissance de référence du moteur électrique $P_{M2r\acute{e}f}^*$ étant envoyée au système de régulation de secours du moteur thermique, la commande de débit de carburant $Q_{CarbAux}^*$ est choisie en
15 comparant la puissance instantanée P_{M2m} du moteur électrique à la puissance de référence $P_{M2r\acute{e}f}$, et dans lequel le dispositif comprend des moyens configurés pour :

- si $P_{M2m} < P_{M2r\acute{e}f}$, commander un débit de carburant auxiliaire $Q_{CarbAux}^*$ tel qu'il réduit le débit carburant Q_{Carb} injecté dans la chambre de combustion du moteur thermique, diminuant ainsi la puissance P_{M1} du moteur thermique ;

20 - si $P_{M2m} > P_{M2r\acute{e}f}$, commander un débit de carburant auxiliaire $Q_{CarbAux}^*$ tel qu'il augmente le débit carburant Q_{Carb} injecté dans la chambre de combustion du moteur thermique, augmentant ainsi la puissance P_{M1} du moteur thermique ;

- si $P_{M2m} = P_{M2r\acute{e}f}$, maintenir la commande de débit $Q_{CarbAux}^*$ constante.

25 6. Dispositif selon la revendication 4, dans lequel une consigne de vitesse de rotation $N_{M1r\acute{e}f}$ étant envoyée au système de régulation de secours du moteur thermique, on mesure la vitesse instantanée N_{M1m} du moteur thermique et on la compare à la consigne de vitesse de rotation $N_{M1r\acute{e}f}$ et dans lequel le dispositif comprend des moyens configurés pour :

- si $N_{M1réf} < N_{M1m}$, commander un débit de carburant auxiliaire $Q_{CarbAux}^*$ tel qu'il réduit le débit carburant Q_{Carb} injecté dans la chambre de combustion du moteur thermique, diminuant ainsi la puissance P_{M1} du moteur thermique ;

5 - si $N_{M1réf} > N_{M1m}$, commander un débit de carburant auxiliaire $Q_{CarbAux}^*$ tel qu'il augmente le débit carburant Q_{Carb} injecté dans la chambre de combustion du moteur thermique, augmentant ainsi la puissance P_{M1} du moteur thermique ; et

- si $N_{M1réf} = N_{M1m}$, maintenir la commande de débit $Q_{CarbAux}^*$ constante ;

et simultanément, comparer la puissance instantanée P_{M2m} du moteur électrique à la puissance de référence $P_{M2réf}$ et

10 - si $P_{M2m} < P_{M2réf}$, réduire la consigne de vitesse de rotation du moteur thermique $N_{M1réf}$;

- si $P_{M2m} > P_{M2réf}$, relever la consigne de vitesse de rotation du moteur thermique $N_{M1réf}$.

15 **7.** Produit programme d'ordinateur comprenant des instructions qui, lorsque le programme est exécuté par un ordinateur, conduisent celui-ci à mettre en œuvre le procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3.

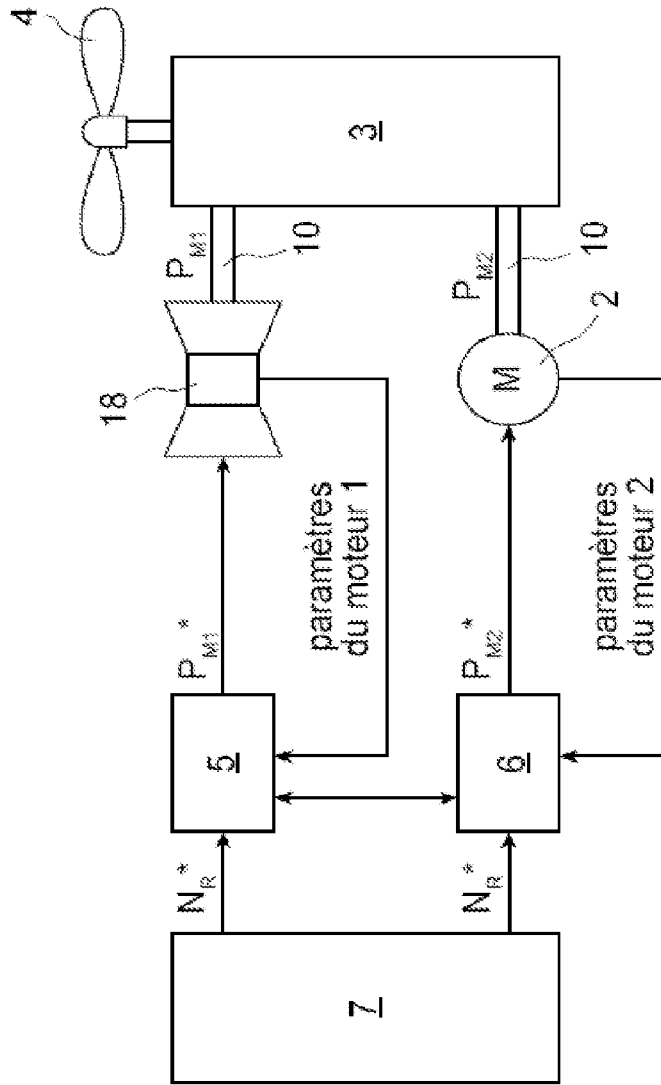


FIG. 1

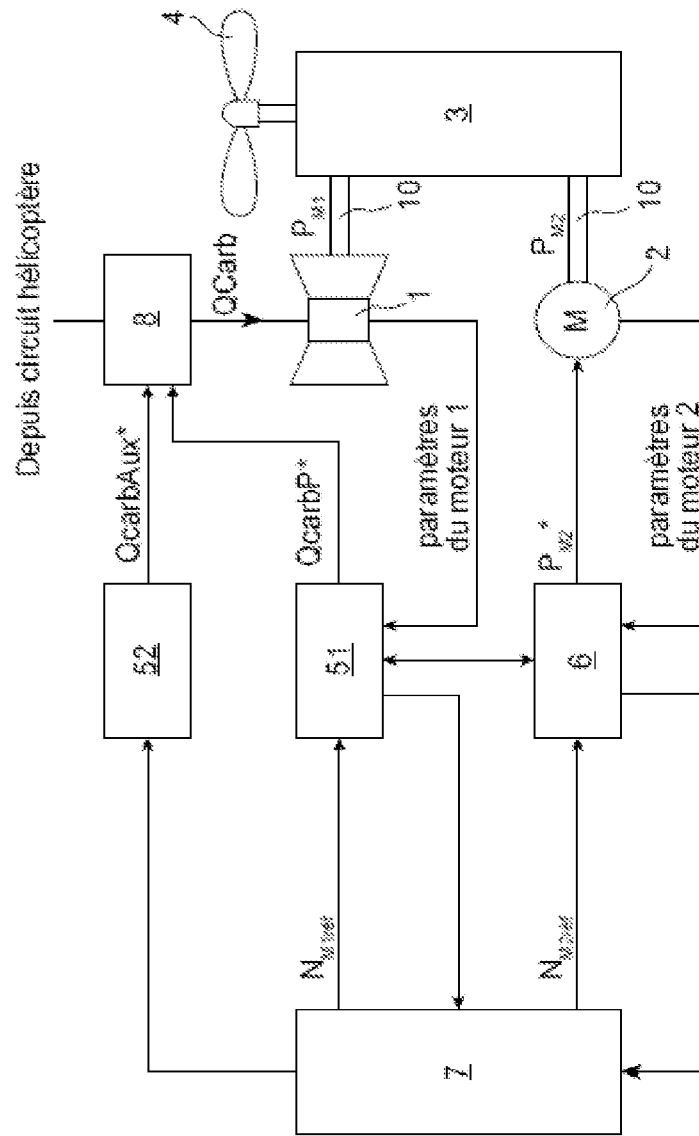


FIG. 2

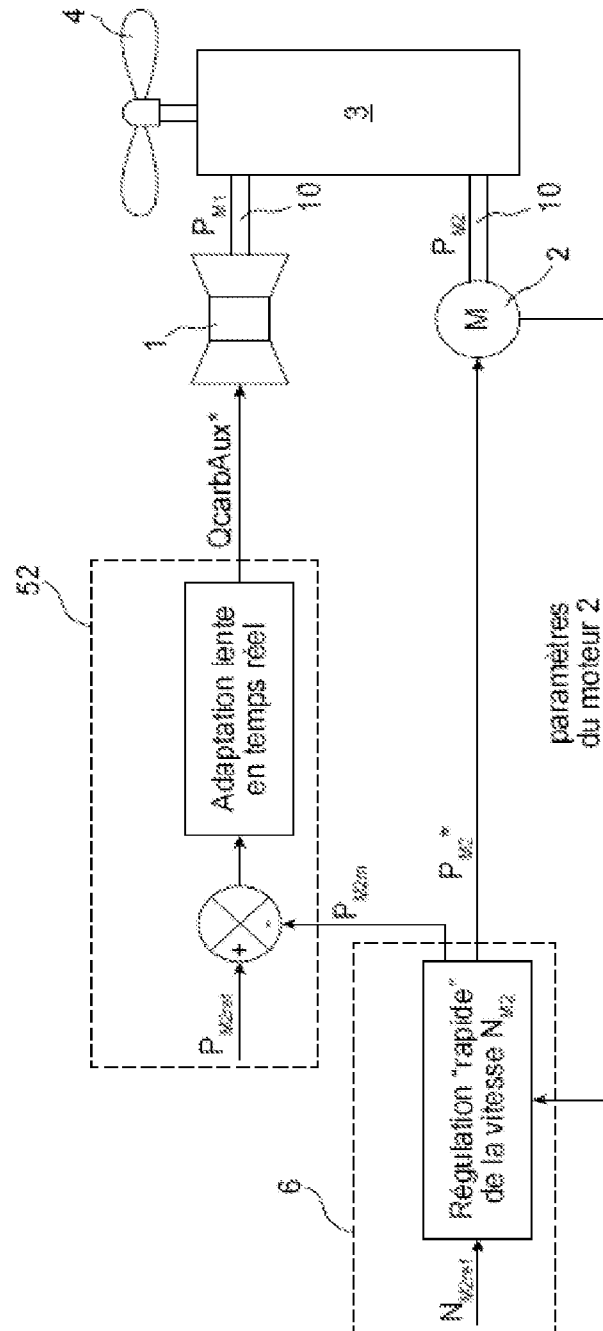


FIG. 3

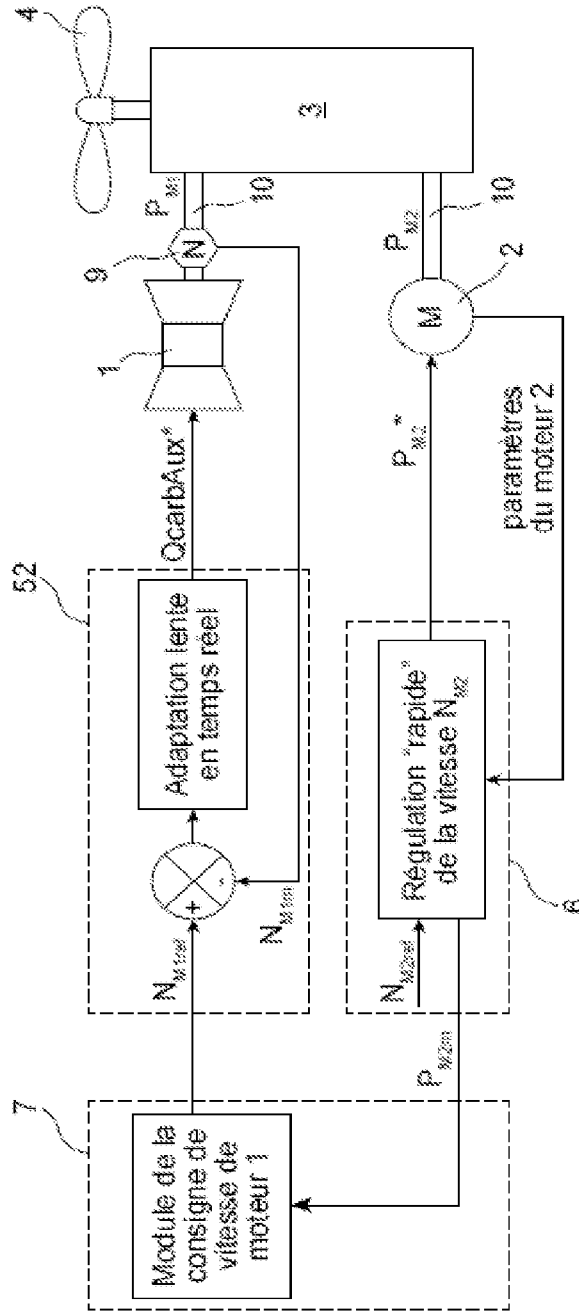


FIG. 4

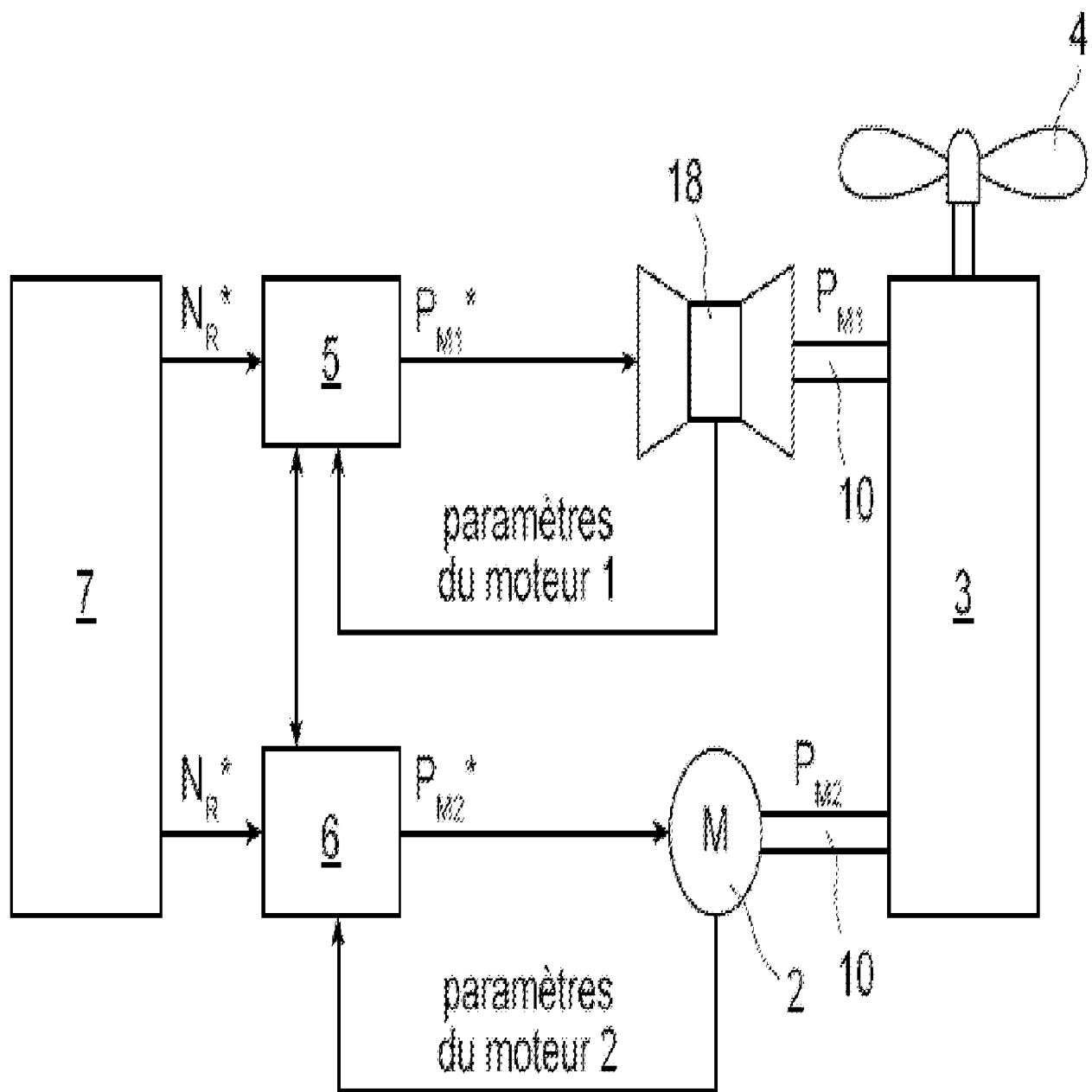


FIG. 1