

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

①① N° de publication :

3 098 902

(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

②① N° d'enregistrement national :

19 08211

⑤① Int Cl⁸ : **G 01 F 9/00** (2019.01), G 01 F 1/68, G 01 F 1/34,
F 02 C 9/00, B 64 D 13/00

①②

BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ PROCÉDE ITERATIF DE DETERMINATION EN TEMPS REEL DU DEBIT D'AIR PRELEVE
SUR UN MOTEUR D'AERONEF.

②② Date de dépôt : 19.07.19.

③③ Priorité :

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 22.01.21 Bulletin 21/03.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 18.06.21 Bulletin 21/24.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑥⑥ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : *Safran Aircraft Engines Société par
actions simplifiée (SAS) — FR.*

⑦② Inventeur(s) : BUJON Irène, BOUJIDA Benissa et
CABRET Vincent Michel.

⑦③ Titulaire(s) : Safran Aircraft Engines Société par
actions simplifiée (SAS).

⑦④ Mandataire(s) : REGIMBEAU.

FR 3 098 902 - B1



Description

Titre de l'invention : PROCÉDE ITERATIF DE DETERMINATION EN TEMPS REEL DU DEBIT D'AIR PRELEVE SUR UN MOTEUR D'AERONEF

Domaine technique

[0001] La présente invention porte sur un procédé et un dispositif de détermination de débit d'air prélevé sur un moteur d'aéronef.

Technique antérieure

[0002] De façon connue, un aéronef a besoin de prélever de l'air sur au moins un moteur (turbomachine) pour par exemple pressuriser sa cabine ou dégivrer ses ailes. Or, le prélèvement de l'air a un impact sur le pilotage du moteur et donc sur la régulation en débit de carburant. En effet, le débit d'injection du carburant doit être augmenté en cas de prélèvement d'air pour pouvoir assurer l'opérabilité du moteur à bas régime. On notera que la régulation du débit d'injection de carburant est assurée par une boucle de régulation qui vise à s'assurer que le débit de carburant injecté dans la chambre de combustion, en phase d'accélération ou de décélération, ne dépasse pas une certaine valeur limite au-delà de laquelle un dysfonctionnement du moteur peut être rencontré. En effet, pour opérer un moteur d'aéronef et plus particulièrement son compresseur haute pression HP, on implémente une valeur seuil de protection appelée butée d'accélération dites en C/P au moyen d'une butée en boucle ouverte limitant le débit carburant maximum ou minimum injectable à un instant donné de l'accélération ou de la décélération, afin de se préserver d'un pompage en accélération et d'une extinction du moteur en décélération. Le débit d'air prélevé par l'avion sur le compresseur HP décharge celui-ci et lui redonne de la marge vis-à-vis du risque de pompage. La butée d'accélération en C/P doit donc être réhaussée d'un coefficient fonction du débit d'air prélevé pour refléter cette augmentation de marge du compresseur HP.

[0003] On connaît des solutions existantes pour la mesure d'un débit d'air dans un système de prélèvement d'air. De telles solutions peuvent mettre en œuvre des mesures de pression totale en aval du prélèvement d'air sur le compresseur pour estimer un tel débit d'air. Cependant, dans le contexte décrit, l'installation d'un capteur de pression totale n'est pas envisageable pour la détermination d'un débit d'air.

Exposé de l'invention

[0004] Le manque de précision sur la connaissance du débit d'air prélevé peut ainsi avoir un impact sur l'opérabilité du moteur. L'objet de la présente invention est donc de remédier aux inconvénients précités en proposant un procédé et un dispositif de détermination avec précision et en temps réel du débit d'air prélevé sur le moteur permettant

une amélioration de l'opérabilité du moteur.

- [0005] En particulier, un but de l'invention est de proposer un procédé de détermination itératif en temps réel du débit d'air prélevé sur un moteur d'aéronef par un système de prélèvement d'air du moteur.
- [0006] A cet égard, l'invention a pour objet un procédé itératif de détermination en temps réel du débit d'air prélevé sur un moteur d'aéronef par un système de prélèvement d'air du moteur, caractérisé en ce qu'il comporte à chaque N-ième itération, les étapes suivantes :
- [0007] - acquisition de mesures de grandeurs physiques de perte de charge aux bords d'un organe déprimogène positionné dans une canalisation du système de prélèvement d'air, et de mesures de grandeurs physiques de température totale et de pression en amont dudit système de prélèvement d'air ;
- [0008] - calcul d'une pression statique fonction des mesures de pression amont et de perte de charge ;
- [0009] - calcul d'une pression totale en fonction de la pression statique calculée, et d'une valeur de compensation ;
- [0010] - calcul d'un débit d'air réduit à partir d'une loi de perméabilité spécifique à l'organe déprimogène, et en fonction de la pression amont mesurée et de la pression statique calculée ;
- [0011] - calcul du débit d'air prélevé en fonction de la pression amont mesurée, de la perte de charge mesurée, et du débit d'air réduit calculé ;
- [0012] ladite valeur de compensation étant obtenue en tenant compte,
- [0013] pour la première itération, d'une valeur prédéterminée, et
- [0014] pour les itérations suivantes, par une sous-étape de
- [0015] - calcul d'une vitesse d'écoulement de l'air prélevé dans la canalisation du système de prélèvement d'air, ladite vitesse étant déterminée en fonction du débit d'air prélevé W_p calculé lors de l'itération précédente N-1, et de la mesure de température totale acquise lors de l'itération courante N.
- [0016] Avantageusement, le procédé permet de manière itérative la détermination en temps réel du débit d'air prélevé sur le moteur d'aéronef par un système de prélèvement d'air du moteur par la compensation en temps réel de la pression statique en pression totale. Cette compensation permet d'obtenir une meilleure précision qu'une mesure directe de pression totale, tout en s'affranchissant des problématiques d'installations liées à l'acquisition d'une telle mesure de pression totale.
- [0017] Avantageusement, mais facultativement, le procédé selon l'invention peut en outre comprendre au moins l'une des caractéristiques suivantes :
- [0018] - Dans l'étape de calcul d'une pression totale, la pression totale à l'itération courante N est déterminée selon la formule suivante :

[0019] [Math.1]

$$Pression\ totale\ N = Pression\ statique\ N \left(\frac{Température\ totale\ N}{Température\ statique\ N} \right)^{1.4/0.4}$$

[0020] la température statique étant déterminée à partir de la température totale mesurée à l'itération courante N, et de la vitesse d'écoulement calculée à l'itération précédente N-1 selon la formule suivante :

[0021] [Math.2]

$$Température\ statique\ N = Température\ totale\ N - \frac{v_{N-1}^2}{2C_p}$$

[0022] avec Cp correspondant à la capacité thermique massique de l'air.

[0023] - A l'itération courante N, la vitesse d'écoulement dans une section de canalisation du système de prélèvement d'air est calculée en fonction du débit d'air prélevé calculé lors de l'itération précédente N-1, selon la formule suivante :

[0024] [Math.3]

$$v\ N = \frac{Wp\ N-1}{Rho \times S}$$

[0025] Avec Rho calculé selon la formule suivante :

[0026] [Math.4]

$$Rho = \frac{Pression\ statique\ N}{287.05 \times Température\ statique\ N}$$

[0027] - La perte de charge est calculée à partir de l'écart entre la pression amont et une mesure de pression différentielle acquise aux bords de l'organe déprimogène.

[0028] - La perte de charge est calculée à partir de l'écart entre la pression amont et une mesure de pression acquise en aval de l'organe déprimogène.

[0029] L'invention a également pour objet un dispositif de détermination itérative en temps réel du débit d'air prélevé sur un moteur d'aéronef par un système de prélèvement d'air du moteur caractérisé en ce qu'il comporte des moyens d'acquisition et des moyens de calcul adaptés pour de façon itérative :

[0030] - acquérir des mesures de grandeurs physiques de perte de charge aux bords d'un organe déprimogène positionné dans une canalisation du système de prélèvement d'air, et des mesures de grandeurs physiques de température totale et de pression en amont dudit système de prélèvement d'air ;

[0031] - calculer une pression statique en fonction de la pression amont et de la perte de charge ;

[0032] - calculer une pression totale en fonction de la pression statique, et d'une valeur de compensation ;

[0033] - calculer un débit d'air réduit à partir d'une loi de perméabilité spécifique à l'organe

- déprimogène, et en fonction de de la pression amont et de la pression statique ;
- [0034] - calculer le débit d'air prélevé en fonction de la pression amont, de la perte de charge, et du débit d'air réduit calculé ;
- [0035] ladite valeur de compensation étant obtenue en tenant compte, pour la première itération, d'une valeur prédéterminée, et pour les itérations suivantes, du calcul d'une vitesse d'écoulement dans la canalisation du système de prélèvement d'air en fonction du débit d'air prélevé calculé lors de l'itération précédente N-1, et de de la mesure de température totale de l'itération courante N.
- [0036] Avantageusement, mais facultativement, le dispositif selon l'invention peut en outre comprendre au moins l'une des caractéristiques suivantes :
- [0037] - L'organe déprimogène est un diaphragme.
- [0038] - L'organe déprimogène est un échangeur thermique.
- [0039] L'invention a également pour objet un calculateur de contrôle d'un moteur d'aéronef, configuré pour implémenter le procédé de détermination de débit d'air selon l'une quelconque des caractéristiques précédemment décrites.
- [0040] L'invention a également pour objet un aéronef, et un moteur d'aéronef, comportant un calculateur de contrôle du moteur d'aéronef selon l'une quelconque des caractéristiques précédemment décrites.

Breve description des dessins

- [0041] D'autres caractéristiques et avantages apparaîtront à la lecture de la description qui va suivre d'un mode de réalisation. Cette description sera donnée en référence aux dessins annexés dans lesquels :
- [0042] [fig.1]
- [0043] – la figure 1 représente une vue schématique d'une turbomachine selon l'invention, en coupe longitudinale ;
- [0044] [fig.2]
- [0045] – la figure 2 illustre schématiquement un système de prélèvement d'air d'un moteur d'aéronef selon l'invention ;
- [0046] [fig.3]
- [0047] – la figure 3 illustre les principales étapes d'un procédé de détermination en temps réel du débit d'air prélevé sur le moteur selon l'invention;
- [0048] [fig.4]
- [0049] – la figure 4 représente la loi de perméabilité d'un organe déprimogène ; et
- [0050] [fig.5]
- [0051] – la figure 5 représente des courbes d'erreur de surestimation de débit d'air déterminées avec un calcul de pression statique P_s non compensée, avec une mesure de pression totale, et avec un calcul de pression statique P_s compensée

en pression totale P_t selon l'invention.

Description des modes de réalisation

[0052]

[0053] En référence tout d'abord à la **figure 1**, il est représenté un moteur de type turbomachine 100 d'aéronef selon l'invention. Il s'agit ici d'un turboréacteur à double flux et à double corps. Néanmoins, il pourrait s'agir d'une turbomachine d'un autre type, par exemple un turbopropulseur, sans sortir du cadre de l'invention. La turbomachine 100 présente un axe longitudinal 3 autour duquel s'étendent ses différents composants. Elle comprend, d'amont en aval selon une direction principale 5 d'écoulement des gaz à travers cette turbomachine, une soufflante 2, un compresseur basse pression 4, un compresseur haute pression 6, une chambre de combustion 8 intégrée à un module de chambre de combustion, une turbine haute pression 10 et une turbine basse pression 12. Ces éléments délimitent une veine primaire 14 traversée par un flux primaire 14', tandis qu'une veine secondaire 16 entoure la veine primaire en étant délimitée partiellement par un carter de soufflante 18 et traversée par un flux d'air secondaire 16'.

[0054] La **figure 2** illustre de manière schématique un système de prélèvement d'air 200 d'un moteur d'aéronef 100. Dans la suite de la description, l'amont et l'aval sont définis en regard d'un flux d'air prélevé sur le compresseur haute pression 6.

[0055] Le système de prélèvement d'air « BAS » (Bleed Air System) 200 est compris dans le système propulsif (moteur et nacelle) de l'aéronef et vise à prélever l'air sur le compresseur 6 haute pression HP du moteur pour le délivrer ensuite à l'aéronef ou à un système de dégivrage de la nacelle.

[0056] Le système de prélèvement d'air comporte un circuit de prélèvement d'air, dont une extrémité est connectée au niveau du compresseur 6 et l'autre est connecté par exemple à un système de distribution pneumatique (non représenté) de l'aéronef et/ou à une nacelle antigivrage (non représenté) du moteur.

[0057] En outre, des capteurs sont installés dans le système 200 de prélèvement d'air (BAS) pour mesurer des grandeurs physiques spécifiques au prélèvement d'air. En particulier, le système de prélèvement d'air 1 comporte des moyens de mesure d'une perte de charge ΔP du système de prélèvement d'air au niveau d'un organe déprimogène 22, par exemple un diaphragme ou un venturi, positionné dans un conduit de prélèvement 21 du circuit de prélèvement d'air.

[0058] Avantageusement, lesdits moyens de mesure comportent un capteur de pression différentielle 23 configuré pour l'acquisition de mesure de pression différentielle aux bornes de l'organe déprimogène 22.

[0059] La pression différentielle peut être également mesurée aux bornes de tout autre élément déprimogène d'un conduit de prélèvement 21, à condition que celui-ci fasse

des pertes de charges suffisamment significatives. Ainsi, avantageusement, la perte de charge peut être mesurée aux bornes d'un échangeur thermique dudit système de prélèvement d'air.

- [0060] Lesdits moyens de mesure comportent également un capteur de température 25 configuré pour l'acquisition de mesure de température totale au niveau du compresseur 6.
- [0061] Lesdits moyens de mesure comportent également des moyens de mesures de pression en amont du circuit de distribution d'air, par exemple au niveau du compresseur 6, tel qu'un capteur de pression 24 configuré pour l'acquisition de mesure de pression Pamont.
- [0062] La **figure 2** illustre également de manière schématique un dispositif 30 de détermination en temps réel du débit d'air prélevé sur le moteur.
- [0063] Le dispositif de détermination 30 est un module numérique comprenant des moyens d'acquisition 31 et des moyens de calcul 32, intégré par exemple à un calculateur de régulation ou de contrôle (par exemple le FADEC) d'un moteur d'aéronef 100.
- [0064] Les moyens d'acquisition 31 sont configurés pour acquérir à des instants successifs les mesures de grandeurs physiques en provenance des capteurs installés dans le système de prélèvement d'air (BAS) 200. Ces mesures comportent des mesures d'une perte de charge ΔP du système de prélèvement d'air au niveau d'un organe déprimogène, par exemple un diaphragme ou un venturi, positionné dans un conduit de prélèvement 21 du circuit de prélèvement d'air. Ainsi, les moyens d'acquisition sont, par exemple, configurés pour acquérir des mesures du capteur de pression différentielle 23 configuré pour l'acquisition de mesure de pression différentielle aux bornes de l'organe déprimogène 22.
- [0065] Les moyens d'acquisition 31 sont également configurés pour acquérir des mesures du capteur de température 25 configuré pour l'acquisition de mesure de température totale au niveau du compresseur 6.
- [0066] Les moyens d'acquisition 31 sont également configurés pour acquérir des mesures de pression en amont du circuit de distribution d'air, par exemple au niveau du compresseur 6 par le capteur de pression 24.
- [0067] Le dispositif de détermination 30 comporte en outre un programme d'ordinateur comprenant des instructions de code adaptées à la mise en œuvre des étapes d'un procédé itératif de détermination en temps réel du débit d'air prélevé sur un moteur d'aéronef 100 par un système de prélèvement d'air du moteur, stocké par exemple dans une mémoire du calculateur. Un tel procédé est décrit ci-après.
- [0068] La **figure 3** illustre certaines étapes d'un procédé itératif de détermination en temps réel du débit d'air prélevé sur un moteur d'aéronef par un système de prélèvement d'air du moteur, mis en œuvre par le dispositif de détermination 30. Les moyens de calcul

32 évaluent à chaque itération N une estimation courante Wp du débit d'air massique prélevé sur le moteur d'aéronef 100 sur la base des mesures de perte de charge ΔP, de pression statique Ps et de température totale recueillies par les moyens d'acquisition 33.

[0069] Dans une itération courante N, dans une première étape **E10**, afin d'estimer le débit d'air en temps réel, la pression statique Ps est déterminée par les moyens de calcul 32 en calculant la différence entre une mesure de pression amont Pamont et une mesure de pression différentielle ΔP.

[0070] Dans un mode de réalisation alternatif, le capteur de pression différentielle 23 peut être remplacé par un capteur de pression absolue en aval de l'organe déprimogène 22. La pression statique Ps est alors déterminée par les moyens de calcul 32 en calculant la différence entre une mesure de pression amont et une mesure de pression aval.

[0071] Dans une étape **E20**, les moyens de calcul 32 évaluent ensuite une pression totale Pt en fonction de la pression statique Ps et d'une valeur de compensation.

[0072] La pression totale Pt à l'itération courante N est déterminée, à partir de la mesure de température totale Tt acquise à l'itération courante N, et d'une valeur de température statique Ts calculée, selon la formule 1 suivante :

[0073] [Math.5]

$$Pression\ totale\ N = Pression\ statique\ N \left(\frac{Température\ totale\ N}{Température\ statique\ N} \right)^{1.4/0.4}$$

[0074] La valeur de température statique Ts étant calculée à partir de la mesure de température totale Tt et de la valeur de compensation. A la première itération N0 du procédé, ladite valeur de compensation est obtenue en tenant compte, d'une valeur pré-déterminée. Par exemple, ladite valeur de compensation peut être nulle, la pression totale Pt est ainsi égale à la pression statique Ps. Sans les itérations suivantes, la valeur de compensation est déterminée à partir du calcul d'une vitesse d'écoulement v déterminé dans une itération précédente N-1. Le calcul d'une vitesse d'écoulement v est décrit ci-après.

[0075] La température statique Ts est ainsi déterminée selon la formule 2 suivante :

[0076] [Math.6]

$$Température\ statique\ N = Température\ totale\ N - \frac{v_{N-1}^2}{2C_p}$$

[0077] avec Cp correspondant à la capacité thermique massique de l'air.

[0078] Ensuite, dans une étape **E30**, les moyens de calcul 32 évaluent à une itération courante N un débit d'air intermédiaire dit « réduit » Wpr à partir d'une loi de perméabilité spécifique à l'organe déprimogène 22, et en fonction de la pression amont Pamont mesurée, de la pression totale calculée Ps, et de la température totale Tt

mesurée.

[0079] La loi de perméabilité est établie au cours d'essais expérimentaux d'étalonnage réalisé sur l'organe déprimogène 22, pour permettre d'établir une formule empirique exprimant le débit d'air réduit W_{pr} de prélèvement d'air en fonction de la perte de charge ΔP dans l'organe déprimogène 22. Un exemple de loi de perméabilité d'un organe déprimogène est illustré par la courbe C1 en **figure 4**. A partir de cette loi, le débit d'air réduit W_{pr} est ainsi déterminé en fonction du rapport entre la perte de charge ΔP et la pression P_{amont} mesuré en amont de l'organe déprimogène 22, par exemple au niveau du compresseur HP 6.

[0080] Dans une étape **E40**, les moyens de calcul 32 évaluent à une itération courante N un débit d'air W_p en fonction de la pression amont P_{amont} mesurée, de la pression statique calculée, de la température totale mesurée, et du débit d'air réduit W_r calculé.

[0081] Le débit d'air réduit W_{pr} est ainsi « déréduit » pour obtenir le débit d'air prélevé W_p selon la formule 3 suivante :

[0082] [Math.7]

$$W_p = \frac{W_{pr} \times P_{amont}}{\sqrt{T_{totale}}} = \frac{\text{loi permeabilité} \left(\frac{P_t}{P_{amont}} \right) \times P_{amont}}{\sqrt{T_{totale}}}$$

[0083] Ensuite, comme décrit ci-avant, une fois une première détermination du débit d'air W_p obtenue, il est procédé au cours des itérations suivantes dans l'étape E20 à une sous-étape **E21** de détermination de la valeur de compensation de la pression statique P_s en pression totale P_t , par calcul de la vitesse d'écoulement de l'air dans le conduit de prélèvement 21 à partir des valeurs de débit d'air W_p obtenu dans l'itération précédente N-1.

[0084] Ainsi, pour une itération courante N, la vitesse d'écoulement V dans une section S de conduit de prélèvement 21 est calculée selon la formule 4 suivante :

[0085] [Math.8]

$$v_N = \frac{W_p_{N-1}}{Rho \times S}$$

[0086] Avec Rho calculé en fonction des mesures de pression statique et de température statique acquise dans l'itération courante N, selon la formule 5 suivante :

[0087] [Math.9]

$$Rho = \frac{\text{Pression statique}_N}{287.05 \times \text{Température statique}_N}$$

[0088] L'intérêt de cette compensation de la pression statique P_s est d'améliorer la précision de la mesure de débit d'air W_p comme illustré dans la figure 5.

[0089] La **figure 5** montre de manière très schématique les éventuelles erreurs commises sur la mesure de débit en fonction du débit d'air réellement prélevé.

- [0090] Un premier ensemble de points représente l'erreur de surestimation de W_p avec un calcul de pression statique P_s non compensée utilisée directement pour le calcul de W_p . Un second ensemble de points représente l'erreur de surestimation en utilisant directement une mesure de pression totale P_t . Un troisième ensemble de points représente l'erreur de surestimation avec un calcul de pression statique P_s compensée en pression totale P_t obtenu selon le procédé décrit ci-avant.
- [0091] Ces courbes montrent qu'utiliser directement la mesure de pression statique P_s n'est pas optimale. En effet, la loi de perméabilité utilise en paramètre d'entrée une valeur de pression totale, la pression statique étant éloignée physiquement de la pression totale, l'utilisation d'une mesure de pression statique P_s entraîne une imprécision de calcul. On peut également observer que le calcul itératif selon le procédé proposé offre une meilleure précision qu'une mesure directe de la pression totale P_t . En effet, le procédé étant itératif, les erreurs d'estimation des différents paramètres de calcul de W_p sont compensées au fur et à mesure des différentes itérations. Ainsi, si la pression statique P_s calculée est sous-estimée à une itération N , le rapport P_t/P_{amont} est sous-estimé, D'après la loi de perméabilité le débit d'air réduit W_r calculé est surestimé, le débit d'air prélevé W_p calculé sera donc surestimé (cf. formule 2). Donc la vitesse d'écoulement sera surestimée (cf. formule 4) donc la température statique sera sous-estimée (cf. formule 2). Donc pour une même pression statique, la pression totale sera surestimée (cf. formule 1).
- [0092] A l'itération $N+1$, on se retrouve donc avec une pression totale P_t surestimée, donc inversement à l'itération N , un rapport P_t/P_{amont} surestimé, donc un débit réduit W_r sous-estimé.... Ainsi, le calcul global de W_p converge vers une valeur plus proche de la réalité, que par l'utilisation directe d'une mesure de pression totale P_t .
- [0093] Le procédé décrit permet donc de manière itérative la détermination en temps réel du débit d'air prélevé sur le moteur d'aéronef par un système de prélèvement d'air 200 du moteur par la compensation en temps réel de la pression statique P_s en pression totale P_t . Cette compensation permet d'obtenir une meilleure précision qu'une mesure directe de pression totale, tout en s'affranchissant des problématiques d'installations liées à telle une mesure de pression totale.

Revendications

[Revendication 1]

Procédé itératif de détermination en temps réel du débit d'air prélevé sur un moteur d'aéronef (100) par un système de prélèvement d'air (200) du moteur, caractérisé en ce qu'il comporte à chaque N-ième itération, les étapes suivantes :- acquisition de mesures de grandeurs physiques de perte de charge aux bords d'un organe déprimogène (22) positionné dans une canalisation (21) du système de prélèvement d'air (200), et de mesures de grandeurs physiques de température totale et de pression en amont dudit système de prélèvement d'air (200) ; - (E10) calcul d'une pression statique fonction des mesures de pression amont et de perte de charge ;

- (E20) calcul d'une pression totale en fonction de la pression statique calculée, et d'une valeur de compensation ;

- (E30) calcul d'un débit d'air réduit (W_{pr}) à partir d'une loi de perméabilité spécifique à l'organe déprimogène (22), et en fonction de la pression amont mesurée et de la pression statique calculée ;

- (E40) calcul du débit d'air prélevé (W_p) en fonction de la pression amont mesurée, de la perte de charge mesurée, et du débit d'air réduit calculé ;

ladite valeur de compensation étant obtenue en tenant compte, pour la première itération, d'une valeur prédéterminée, et pour les itérations suivantes, par une sous-étape de

- (E21) calcul d'une vitesse d'écoulement (v) de l'air prélevé dans la canalisation du système de prélèvement d'air (200), ladite vitesse (v) étant déterminée en fonction du débit d'air prélevé W_p calculé lors de l'itération précédente N-1, et de la mesure de température totale acquise lors de l'itération courante N.

[Revendication 2]

Procédé itératif de détermination en temps réel du débit d'air prélevé sur un moteur d'aéronef (100) selon la revendication précédente dans lequel dans l'étape (E20) de calcul d'une pression totale, la pression totale à l'itération courante N est déterminée selon la formule suivante :

$$Pression\ totale\ _N = Pression\ statique\ _N \left(\frac{Température\ totale\ _N}{Température\ statique\ _N} \right)^{1.4/0.4}$$

la température statique étant déterminée à partir de la température totale mesurée à l'itération courante N, et de la vitesse d'écoulement (v) calculée à l'itération précédente N-1 selon la formule suivante :

$$Température\ statique\ _N = Température\ totale\ _N - \frac{v_{N-1}^2}{2C_p}$$

[Revendication 3] avec Cp correspondant à la capacité thermique massique de l'air
Procédé itératif de détermination en temps réel du débit d'air prélevé sur un moteur d'aéronef (100) selon la revendication précédente dans lequel, à l'itération courante N, la vitesse d'écoulement (v) dans une section (S) de canalisation (21) du système de prélèvement d'air (200) est calculée en fonction du débit d'air prélevé (Wp) calculé lors de l'itération précédente N-1, selon la formule suivante :

$$v_N = \frac{Wp_{N-1}}{Rho \times S}$$

Avec Rho calculé selon la formule suivante :

$$Rho = \frac{Pression\ statique_N}{287.05 \times Température\ statique_N}$$

[Revendication 4] Procédé itératif de détermination en temps réel du débit d'air prélevé sur un moteur d'aéronef (100) selon l'une des revendications précédentes dans lequel la perte de charge est calculée à partir de l'écart entre la pression amont et une mesure de pression différentielle acquise aux bords de l'organe déprimogène.

[Revendication 5] Procédé itératif de détermination en temps réel du débit d'air prélevé sur un moteur d'aéronef (100) selon l'une des revendications 1 à 3 dans lequel la perte de charge est calculée à partir de l'écart entre la pression amont et une mesure de pression acquise en aval de l'organe déprimogène.

[Revendication 6] Dispositif (30) de détermination itérative en temps réel du débit d'air prélevé sur un moteur d'aéronef (100) par un système de prélèvement d'air (200) du moteur, caractérisé en ce qu'il comporte des moyens d'acquisition (33) et des moyens de calcul (35) adaptés pour de façon itérative :

- acquérir des mesures de grandeurs physiques de perte de charge aux bords d'un organe déprimogène (22) positionné dans une canalisation (21) du système de prélèvement d'air (200), et des mesures de grandeurs physiques de température totale et de pression en amont dudit système de prélèvement d'air (200) ;
- calculer une pression statique en fonction de la pression amont et de la perte de charge ;
- calculer une pression totale en fonction de la pression statique, et d'une valeur de compensation ;
- calculer un débit d'air réduit à partir d'une loi de perméabilité spécifique à l'organe déprimogène, et en fonction de de la pression

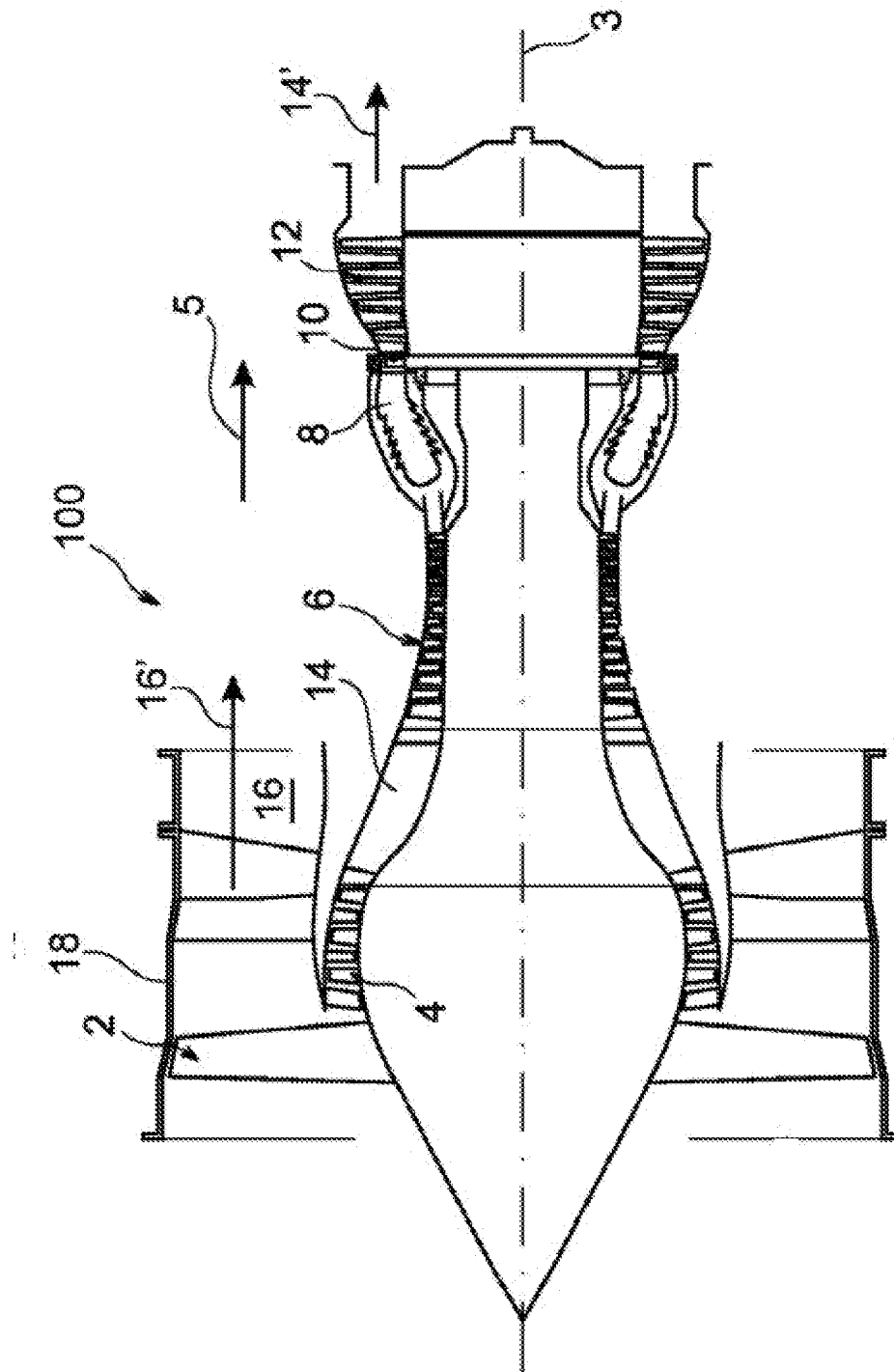
amont et de la pression statique ;

- calculer le débit d'air prélevé en fonction de la pression amont, de la perte de charge, et du débit d'air réduit calculé ;

ladite valeur de compensation étant obtenue en tenant compte, pour la première itération, d'une valeur prédéterminée, et pour les itérations suivantes, du calcul d'une vitesse d'écoulement dans la canalisation du système de prélèvement d'air en fonction du débit d'air prélevé calculé lors de l'itération précédente N-1, et de de la mesure de température totale de l'itération courante N.

- [Revendication 7] Dispositif de détermination itérative en temps réel du débit d'air prélevé sur un moteur d'aéronef (100) selon la revendication précédente dans lequel l'organe déprimogène (22) est un diaphragme.
- [Revendication 8] Dispositif de détermination itérative en temps réel du débit d'air prélevé sur un moteur d'aéronef (100) selon la revendication 6 dans lequel l'organe déprimogène (22) est un échangeur thermique.
- [Revendication 9] Calculateur de contrôle (32) d'un moteur d'aéronef (100), configuré pour implémenter le procédé de détermination de débit d'air selon l'une quelconque des revendications 1 à 5.
- [Revendication 10] Moteur d'aéronef (100), comportant un calculateur de contrôle (32) d'un moteur d'aéronef (100) selon la revendication précédente.
- [Revendication 11] Aéronef comprenant un moteur selon la revendication précédente.

[Fig. 1]



[Fig. 2]

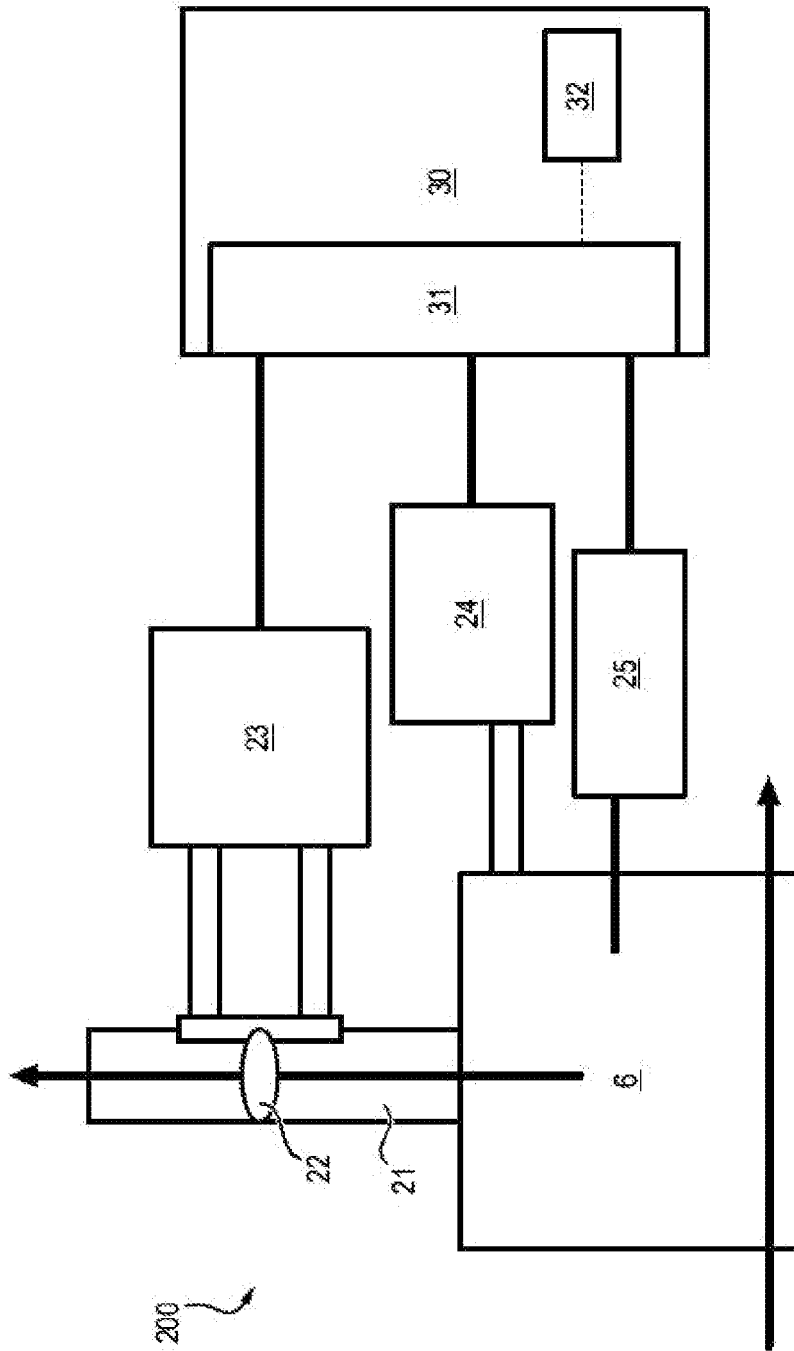
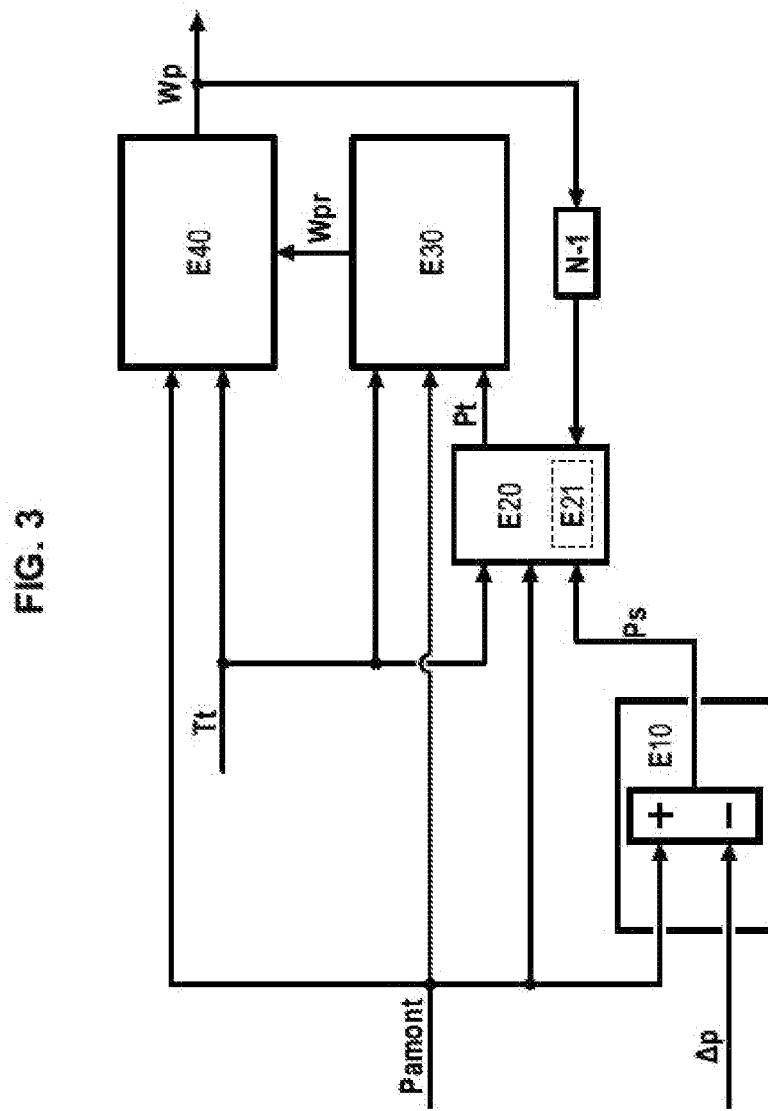
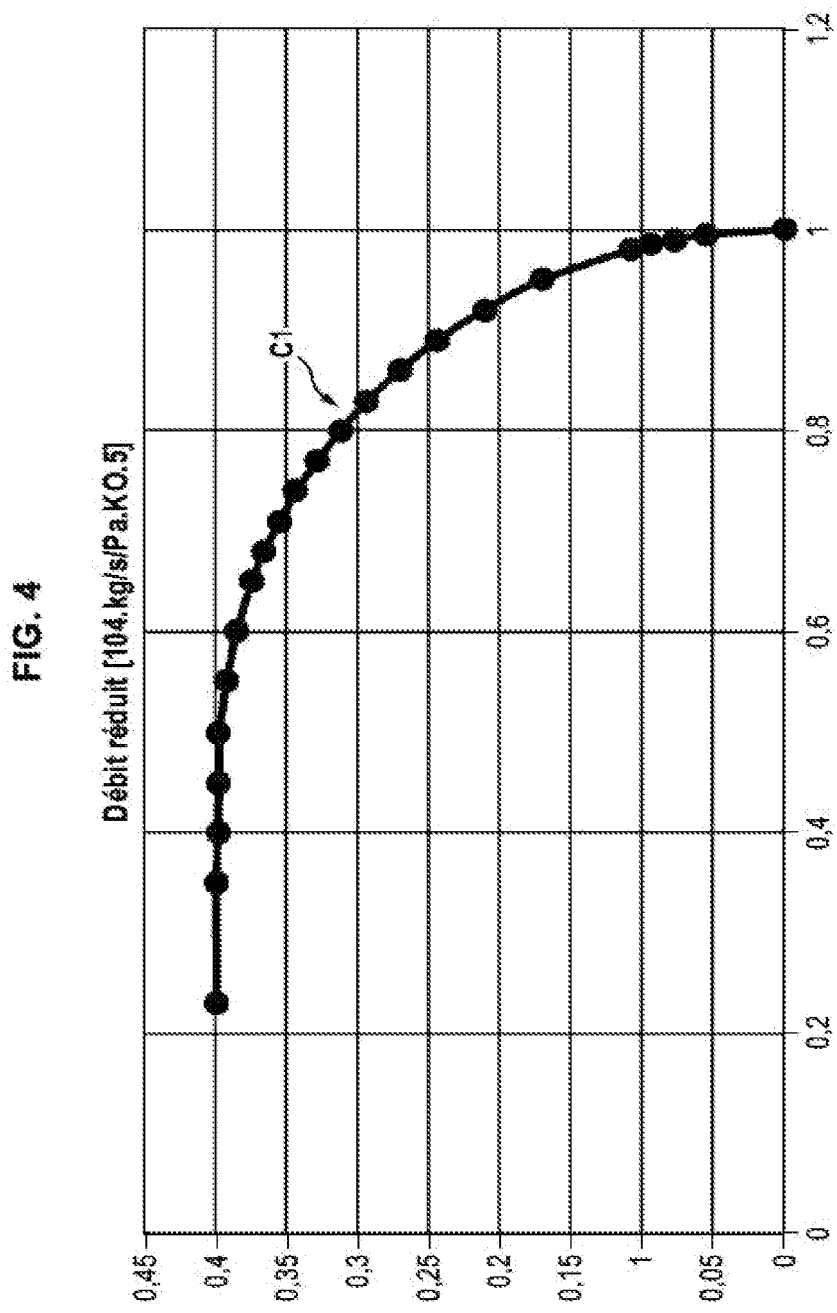


FIG. 2

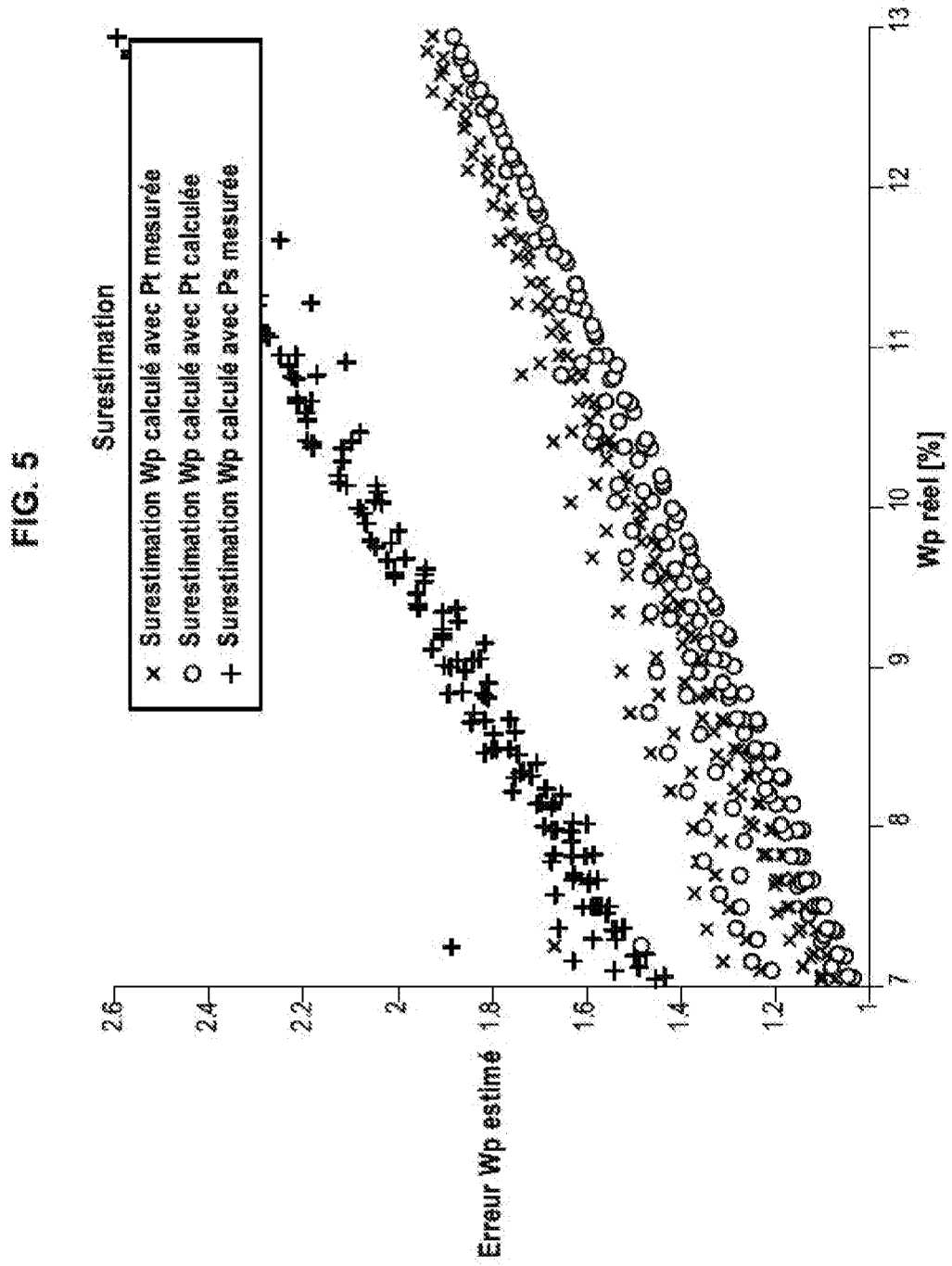
[Fig. 3]



[Fig. 4]



[Fig. 5]



RAPPORT DE RECHERCHE

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

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

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

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

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

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

Le demandeur a maintenu les revendications.

Le demandeur a modifié les revendications.

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

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

Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

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

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

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

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

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

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

WO 2014/072619 A1 (SNECMA [FR])
15 mai 2014 (2014-05-15)

BEARD P F ET AL: "Mass flow rate measurement in a transonic turbine test facility with temperature distortion and swirl",

FLOW MEASUREMENT AND INSTRUMENTATION,
BUTTERWORTH-HEINEMANN, OXFORD, GB,

vol. 19, no. 5, octobre 2008 (2008-10),

pages 315-324, XP023907318,

ISSN: 0955-5986, DOI:

10.1016/J.FLOWMEASINST.2008.03.004

[extrait le 2008-04-09]

FR 3 074 288 A1 (SAFRAN AIRCRAFT ENGINES
[FR]) 31 mai 2019 (2019-05-31)

FR 2 998 049 A1 (SNECMA [FR])
16 mai 2014 (2014-05-16)

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

NEANT

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

NEANT