(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

COURBEVOIE

(11) **N° de publication :** ***3 155 208***

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

(21) **N° d'enregistrement national :** **23 12434**

(51) Int Cl[8] : ***B 64 C 11/18*** *(2024.01), B 64 C 11/30, F 01 D 5/12, F 02 C 7/00*

(12) DEMANDE DE BREVET D'INVENTION A1

(22) **Date de dépôt :** 14.11.23.

(30) **Priorité :**

(43) **Date de mise à la disposition du public de la demande :** 16.05.25 Bulletin 25/20.

(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) :** *SAFRAN AIRCRAFT ENGINES Sociéte par actions simplifiee* — FR.

(72) **Inventeur(s) :** GEA AGUILERA Fernando, BOUSSAT Nicolas Alexandre, FRANCOIS Guillaume Maxime et BELLOT Ryad Remy.

(73) **Titulaire(s) :** SAFRAN AIRCRAFT ENGINES Sociéte par actions simplifiee.

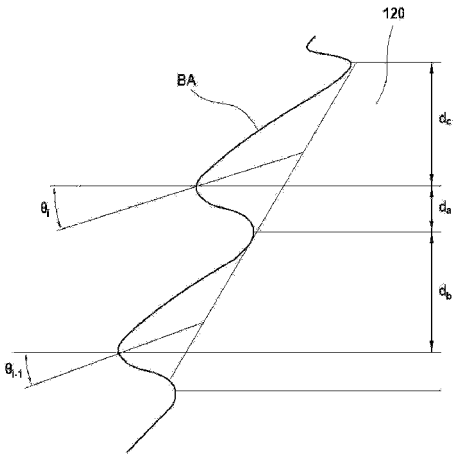
(74) **Mandataire(s) :** CABINET BEAU DE LOMENIE.

(54) Soufflante pour propulsion aéronautique.

(57) Soufflante pour propulsion aéronautique

Soufflante propulsive (100) comprenant deux rangées de pales (110,120)Le bord d'attaque (BA) d'au moins une pale (120) de la deuxième rangée est au moins partiellement en dents de scie. Pour au moins un sommet de dent inclinée, une première distance (da), en direction radiale, du sommet de dent inclinée à un premier creux adjacent, plus proche de l'axe central (X) que le sommet de dent inclinée, est inférieure à une deuxième distance (db), en direction radiale, du premier creux adjacent du sommet de dent inclinée à un sommet de dent adjacente, encore plus proche de l'axe central (X) que le premier creux adjacent du sommet de dent inclinée, et à une troisième distance (dc), en direction radiale, du sommet de dent inclinée à un deuxième creux adjacent, plus éloigné de l'axe central (X) que le sommet de dent inclinée.

Figure pour l'abrégé : Fig. 5.



FR 3 155 208 - A1

Description

Titre de l'invention : Soufflante pour propulsion aéronautique

Domaine technique

[0001] Le domaine technique du présent exposé est celui de la propulsion et en particulier celui des soufflantes propulsives, telles que notamment destinées à être actionnées par un moteur à turbine à gaz dans la propulsion aéronautique.

Technique antérieure

[0002] Le changement climatique est une préoccupation majeure pour de nombreux organes législatifs et de régulation à travers le monde. En effet, diverses restrictions sur les émissions de carbone ont été, sont ou seront adoptées par divers états. En particulier, une norme ambitieuse s'applique à la fois aux nouveaux types d'avions mais aussi ceux en circulation nécessitant de devoir mettre en œuvre des solutions technologiques afin de les rendre conformes aux réglementations en vigueur. L'aviation civile se mobilise depuis maintenant plusieurs années pour apporter une contribution à la lutte contre le changement climatique.

[0003] Les efforts de recherche technologique ont déjà permis d'améliorer de manière très significative les performances environnementales des avions. La Déposante prend en considération les facteurs impactant dans toutes les phases de conception et de développement pour obtenir des composants et des produits aéronautiques moins énergivores, plus respectueux de l'environnement et dont l'intégration et l'utilisation dans l'aviation civile ont des conséquences environnementales modérées dans un but d'amélioration de l'efficacité énergétique des avions.

[0004] Par voie de conséquence, la Déposante travaille en permanence à la réduction de son impact climatique par l'emploi de méthodes et l'exploitation de procédés de développement et de fabrication vertueux et minimisant les émissions de gaz à effet de serre au minimum possible pour réduire de l'empreinte environnementale de son activité.

[0005] Ces travaux de recherche et de développement soutenus portent à la fois sur les nouvelles générations de moteurs d'avions, l'allègement des appareils, notamment par les matériaux employés et les équipements embarqués allégés, le développement de l'emploi des technologies électriques pour assurer la propulsion, et, indispensables compléments aux progrès technologiques, les biocarburants aéronautiques.

[0006] La recherche de la minimisation des émissions polluantes liées au transport aérien passe notamment par la voie de l'amélioration de toutes les efficacités des systèmes de propulsion, et plus particulièrement du rendement propulsif qui caractérise l'efficacité avec laquelle l'énergie utilisée est convertie en effort de poussée utile.

[0007] Les éléments influençant au premier ordre ce rendement propulsif sont ceux qui

contribuent de manière immédiate à la génération de la poussée, dont notamment les soufflantes propulsives. Le principe directeur connu permettant d'améliorer le rendement propulsif consiste à diminuer le taux de compression de la soufflante, diminuant par là-même la vitesse d'écoulement de l'air en sortie de la soufflante et les pertes par énergie cinétique qui lui sont liées.

[0008] Pour obtenir la même poussée, cette diminution de vitesse d'écoulement en sortie de la soufflante propulsive doit normalement être compensée par un plus grand débit massique d'air plus important, et donc un plus grand diamètre de la soufflante. Quand cette soufflante est actionnée par un moteur à turbine à gaz, ceci implique normalement aussi un plus grand taux de dilution (en anglais, « bypass ratio », abrégé « BPR »), qui est le rapport entre le débit massique du flux froid de la soufflante (flux secondaire) et celui alimentant la chambre de combustion du moteur à turbine à gaz (flux primaire).

[0009] Quand la soufflante est carénée, l'augmentation du diamètre de la soufflante implique aussi celle des dimensions extérieures du carter de rétention l'entourant, ainsi que de la nacelle constituant l'enveloppe aérodynamique du carter en question, et donc sa trainée, ainsi que celle de leur masse. Afin d'éviter ces inconvénients, il est possible de raccourcir la longueur axiale de la nacelle et de l'amincir. Par ailleurs, plusieurs types de soufflantes propulsives non-carénées ont été envisagés, dont notamment ceux connus sous les acronymes anglais « USF » et « CROR ». Dans les deux types, la soufflante propulsive comprend deux rangées de pales arrangées radialement autour d'un ou plusieurs axes centraux, l'une en amont et l'autre en aval, les termes « amont » et « aval » étant compris, dans le contexte du présent exposé, comme étant définis par rapport au sens habituel de circulation de l'air à travers la soufflante. Toutefois, dans les soufflantes propulsives de type « USF » (« Unducted Single Fan ») seulement la rangée en amont est rotative autour de l'axe central, tandis que dans les soufflantes propulsives de type « CROR » (« Counter-Rotating Open Rotor ») les deux rangées sont rotatives en sens opposées. Toutefois, dans les deux types, des pales de chacune des deux rangées peuvent être à calage variable.

[0010] Les interactions entre des rangées successives de pales et aubes peuvent générer des émissions sonores, notamment aux harmoniques de la fréquence de passage des pales (« BPF », de l'anglais « Blade Passing Frequency »). Or, dans les soufflantes carénées, le raccourcissement et l'amincissement de la nacelle pour essayer de compenser l'augmentation de la traînée et la masse liée à un plus grand diamètre a l'inconvénient de diminuer l'espace disponible pour les traitements acoustiques qui servent à la réduction de bruit, tandis que dans les soufflantes non-carénées, l'absence de carter ou nacelle entourant la soufflante permet la diffusion directe de ces émissions sonores à l'environnement.

[0011] D'importants efforts de recherche et développement ont donc été dirigés, notamment

par la Déposante, à la réduction de ces émissions sonores. Pour cela, il a notamment été proposé, notamment dans les publications de demandes internationales de brevet WO 2023/007098 A1 et WO 2019/158875 A1, de former des dents ou ondulations sur le bord de fuite des pales des soufflantes propulsives non carénées, de manière à réduire ou distribuer leurs tourbillons marginaux. Cette solution a aussi été proposée pour des soufflantes carénées, par exemple dans les publications de demandes de brevet français FR 2 986 285 A1 et FR 3 103 231 A1. Par ailleurs, il a aussi été proposé d'incorporer des dents ou ondulations au bord d'attaque pour des raisons similaires, par exemple dans la publication de demande de brevet européen EP 2 760 737 A1 et dans les brevets US 11,560,796 et US 11,047,238.

Exposé de l'invention

[0012] Le présent exposé est le résultat des recherches technologiques visant à améliorer de manière très significative les performances des aéronefs et, en ce sens, contribue à la réduction de leur impact environnemental, et notamment en termes d'émissions sonores. Pour cela, un premier aspect du présent exposé concerne une soufflante propulsive comprenant une première rangée de pales et une deuxième rangée de pales disposée en aval de la première rangée de pales, la première rangée de pales étant apte à tourner autour d'un axe central par rapport à la deuxième rangée de pales. On entend par « pale », dans le cadre du présent exposé, tant les pales rotatives comme les aubes de redressement. Ainsi, la deuxième rangée de pales peut être contrarotative par rapport à la première rangée de pales ou statorique . Chaque pale des première et deuxième rangées de pales peut donc avoir un intrados et un extrados s'étendant, en direction radiale par rapport à l'axe central, d'un pied de pale à une tête de pale et, dans une direction de largeur de la pale, d'un bord d'attaque à un bord de fuite.

[0013] Le bord d'attaque d'au moins une pale de la deuxième rangée de pales peut être au moins partiellement en dents de scie (en anglais : « serrations »), avec une pluralité de sommets de dents, et en particulier au moins trois sommets de dents, intercalées entre des creux, dont au moins un sommet de dent inclinée. Dans le contexte du présent exposé, on entend « en dents de scie » de manière large, pouvant couvrir des simples ondulations plus ou moins prononcées. Par « sommet de dent » du bord d'attaque, on entend une convexité formant un maximum local de sa position en direction axiale amont, et par « creux » du bord d'attaque, une concavité formant un minimum local de sa position en direction axiale amont. Une première distance, en direction radiale, du sommet de dent inclinée à un premier creux adjacent du sommet de dent inclinée, plus proche de l'axe central que le sommet de dent inclinée, peut inférieure à une deuxième distance, en direction radiale, du premier creux adjacent du sommet de dent inclinée à un sommet de dent adjacente, encore plus proche de l'axe central que le premier creux

adjacent du sommet de dent inclinée, et à une troisième distance, en direction radiale, du sommet de dent inclinée à un deuxième creux adjacent du sommet de dent inclinée, plus éloigné de l'axe central que le sommet de dent inclinée. Ainsi, au moins cette dent inclinée peut être inclinée vers l'axe central des première et deuxième rangées de pales.

[0014] Grâce à cette inclinaison vers l'axe central, l'angle de flèche du bord d'attaque peut être localement augmenté entre le sommet de dent inclinée et le deuxième creux adjacent du sommet de dent inclinée, plus éloigné de l'axe central, ce qui contribue à dé-corréler les sources acoustiques, c'est-à-dire éviter qu'elles soient activées au même moment. Cette dé-corrélation peut générer des interférences destructives entre les sources acoustiques et contribuer ainsi à la réduction de bruit.

[0015] Dans ladite au moins une pale de la deuxième rangée de pales, une cambrure et/ou un angle, par rapport à une direction parallèle à l'axe central, d'une ligne droite reliant le bord d'attaque au bord de fuite ou d'une ligne de squelette équidistante de l'intrados et de l'extrados au bord d'attaque, peuvent être supérieurs dans un profil de pale au niveau dudit premier creux adjacent que dans des profils de pale aux niveaux des sommets de dent inclinée et de dent adjacente. On entend par « ligne de squelette », dans le cadre du présent exposé, un segment, équidistant de l'intrados et de l'extrados sur toute sa longueur, et reliant le bord d'attaque au bord de fuite dans un plan perpendiculaire à la direction radiale. On entend par « cambrure », dans le cadre du présent exposé, un rapport entre une distance maximale, perpendiculairement à la ligne droite reliant le bord d'attaque au bord de fuite dans un plan perpendiculaire à la direction radiale, de cette ligne droite à la ligne de squelette correspondante, et la longueur de ladite ligne droite reliant le bord d'attaque au bord de fuite dans un plan perpendiculaire à la direction radiale. Ces angles et/ou cambrure plus prononcés au niveau du creux d'y réduire l'incidence de l'écoulement et donc y supprimer ou au moins réduire le décollement de l'écoulement et/ou la génération de tourbillons et/ou la génération de chocs d'écoulement aérodynamiques, et donc les pertes aérodynamiques.

[0016] Une ligne droite reliant le sommet de dent inclinée à un point équidistant des premier et deuxième creux adjacents du sommet de dent inclinée sur une ligne droite reliant les premier et deuxième creux adjacents du sommet de dent inclinée peut présenter, par rapport à une ligne parallèle à l'axe central traversant ledit point équidistant des premier et deuxième creux adjacents du sommet de dent inclinée, un angle d'inclinaison vers l'axe central inférieur à 60° et en particulier inférieur à 45° et/ou supérieur à 10°. L'inclinaison de la dent peut ainsi être optimisée pour réduire la génération de bruit et/ou les pertes aérodynamiques. Dans ce cas, une ligne droite reliant ledit sommet de dent adjacente à un point équidistant de deux creux adjacents dudit sommet de dent adjacente sur une ligne droite reliant les deux creux adjacents dudit sommet de dent adjacente peut présenter, par rapport à une ligne parallèle à l'axe

central traversant ledit point équidistant des deux creux adjacents du sommet de dent adjacente, un angle d'inclinaison vers l'axe central inférieur audit angle d'inclinaison de la ligne droite reliant le sommet de dent inclinée au point équidistant des premier et deuxième creux adjacents dudit sommet de dent inclinée. Comme ledit sommet de dent adjacente est plus proche de l'axe central que ledit sommet de dent inclinée, on peut ainsi obtenir une loi d'inclinaison décroissante pour les dents successives en direction de l'axe central. En particulier, ce décroissement peut être monotone. Par décroissement « monotone », dans le contexte du présent exposé, on entend que chaque dent successive, en direction radiale vers l'axe central, peut avoir une inclinaison vers l'axe central égale à ou inférieure à l'inclinaison vers l'axe central de la dent précédente. Avec des dents plus inclinées, et donc des angles de flèche du bord d'attaque plus prononcés, à proximité de la tête de pale, il est possible de mieux supprimer les effets négatifs des interactions avec les tourbillons de tête de pale de la première rangée de pales, dans la région où elles vont être plus importantes. D'autre part, des dents moins inclinées à proximité du pied de pale peuvent permettre d'éviter d'autres interactions négatives entre la dent et la couche limite à proximité du pied de pale.

[0017] Le bord d'attaque d'au moins une pale de la deuxième rangée de pales peut ne présenter aucun sommet de dent à une distance radiale, par rapport à la tête de pale, de moins de 15% d'une envergure, en direction radiale, du pied de pale à la tête de pale. En effet, la corde en tête d'aube pouvant être faible, il peut s'avérer complexe d'y placer une dent d'un point de vue de la tenue mécanique, de la fabrication ou de la maintenabilité des aubes. Quand le bord d'attaque est ainsi dépourvu de sommets de dents en bout de pale, tout angle de flèche, par rapport à la direction radiale, du bord d'attaque d'au moins une pale de la deuxième rangée de pales, à une distance radiale de la tête de pale inférieure à 15% de l'envergure, peut être supérieur à 50°. Dans ce cas, tout angle de flèche par rapport à la direction radiale, du bord d'attaque d'au moins une pale de la deuxième rangée de pales, à une distance radiale de la tête de pale inférieure à 5% de l'envergure, peut être supérieur à 55°. Comme indiqué auparavant, un angle de flèche prononcé contribue à la dé-corrélation des sources acoustiques, qui peuvent être particulièrement importantes en tête de pale.

[0018] Au moins une pale des première et/ou deuxième rangées de pales peut être à calage variable autour d'un axe radial correspondant perpendiculaire à l'axe central, afin d'en optimiser le rendement à différents régimes.

[0019] Le bord d'attaque d'au moins une pale de la deuxième rangée de pales peut notamment présenter des espacements entre sommets de dents adjacentes qui décroissent de manière monotone en direction radiale vers la tête de pale. Ainsi, les espacements plus importants à proximité du pied de pale permettent de mieux dissiper

l'énergie acoustique provenant de l'interaction de la couche limite et/ou des tourbillons de pied de pale de la première rangée de pales avec les pieds de pale de la deuxième rangée de pales. Par ailleurs, les plus grands espacements à proximité du pied de pale peuvent permettre d'éviter des rayonnements en phase sur cette région de la pale, même si l'angle de flèche y est plus faible à proximité du pied de pale.

[0020] Tout rapport entre espacements adjacents parmi lesdits espacements entre sommets de dents adjacentes est entre 1 et 1,6, en particulier entre 1,05 et 1,4, de manière à permettre une évolution graduelle entre espacements.

[0021] La deuxième rangée de pales peut notamment être stationnaire en rotation autour de l'axe central comme dans les soufflantes propulsives carénées conventionnelles ou dans les soufflantes propulsives non-carénées à configuration dite « USF ». Toutefois, il est alternativement envisageable que la deuxième rangée de pales soit contrarotative autour de l'axe central par rapport à la première rangée de pales, comme dans la configuration de soufflante non-carénée dite « CROR ». Par ailleurs, la soufflante propulsive peut être sans carénage autour des première et deuxième rangées de pales ou, alternativement, comprendre une nacelle entourant les première et/ou deuxième rangées de pales.

[0022] Un deuxième aspect du présent exposé concerne un propulseur pouvant comprendre la soufflante propulsive suivant le premier aspect et un moteur à turbine à gaz pour l'actionnement de la soufflante propulsive. Le propulseur peut notamment comprendre aussi un réducteur interposé entre le moteur à turbine à gaz et la soufflante propulsive, afin de réduire la vitesse de rotation de la soufflante propulsive par rapport à une vitesse de sortie du moteur à turbine à gaz. Toutefois, d'autres moyens d'actionnement sont également envisageables, comme par exemple un propulseur hybride dans lequel le moteur à turbine à gaz serait combiné à un moteur électrique, qui pourrait être interposé en série entre le moteur à turbine à gaz et la soufflante, ou être disposé en parallèle au moteur à turbine à gaz dans une ligne de transmission. Un propulseur électrique, ne comprenant qu'un moteur électrique pour l'actionnement de la soufflante propulsive, est également envisageable.

[0023] Un troisième aspect du présent exposé concerne un aéronef comprenant un propulseur tel que décrit ci-dessus.

Brève description des dessins

[0024] L'invention sera bien comprise et ses avantages apparaîtront mieux, à la lecture de la description détaillée qui suit, de modes de réalisation représentés à titre d'exemples non limitatifs. La description se réfère aux dessins annexés qui sont schématiques et visent avant tout à illustrer les principes de l'exposé.

[0025] Sur ces dessins, d'une figure à l'autre, des éléments (ou parties d'élément) identiques

ou équivalents sont repérés par les mêmes signes de référence. Sur ces dessins annexés :

[0026] [Fig.1] La [Fig.1] illustre schématiquement un aéronef.

[0027] [Fig.2] La [Fig.2] illustre schématiquement en coupe un propulseur, apte à la propulsion de l'aéronef de la [Fig.1], équipé d'une soufflante propulsive non-carénée suivant un premier mode de réalisation.

[0028] [Fig.3] La [Fig.3] illustre schématiquement la soufflante propulsive suivant le premier mode de réalisation.

[0029] [Fig.4A] La [Fig.4A] représente une vue de coupe d'une pale de la soufflante propulsive de la [Fig.3] dans un plan perpendiculaire à un axe radial d'empilement.

[0030] [Fig.4B] La [Fig.4B] illustre une forme alternative du bord de fuite de la pale de la [Fig.4A].

[0031] [Fig.5] La [Fig.5] représente une vue latérale de détail d'une pale de la deuxième rangée de pales de la soufflante propulsive suivant le premier mode de réalisation.

[0032] [Fig.6A] La [Fig.6A] illustre une superposition de deux profils, respectivement aux niveaux d'un sommet de dent de bord d'attaque et d'un creux adjacent, d'une pale de la deuxième rangée de pales de la soufflante propulsive suivant une première variante du premier mode de réalisation.

[0033] [Fig.6B] La [Fig.6B] illustre une superposition de deux profils, respectivement aux niveaux d'un sommet de dent de bord d'attaque et d'un creux adjacent, d'une pale de la deuxième rangée de pales de la soufflante propulsive suivant une deuxième variante du premier mode de réalisation.

[0034] [Fig.6C] La [Fig.6C] illustre une superposition de deux profils, respectivement aux niveaux d'un sommet de dent de bord d'attaque et d'un creux adjacent, d'une pale de la deuxième rangée de pales de la soufflante propulsive suivant une troisième variante du premier mode de réalisation.

[0035] [Fig.7] La [Fig.7] représente une vue latérale d'une pale de la deuxième rangée de pales de la soufflante propulsive suivant un deuxième mode de réalisation.

[0036] [Fig.8] La [Fig.8] illustre schématiquement un aéronef avec un propulseur équipé d'une soufflante propulsive carénée suivant un troisième mode de réalisation

[0037] [Fig.9] La [Fig.9] illustre schématiquement le propulseur équipé de la soufflante propulsive carénée suivant le troisième mode de réalisation.

Description des modes de réalisation

[0038] Afin de rendre plus concret l'exposé, des modes de réalisation sont décrits en détail ci-après, en référence aux dessins annexés. Il est rappelé toutefois que l'invention ne se limite pas à ces modes de réalisation.

[0039] Comme illustré sur la [Fig.1], un aéronef 1 peut incorporer un ou plusieurs pro-

pulseurs 10 à soufflante propulsive 100 suivant le présent exposé. Ces propulseurs 10 peuvent notamment être disposés, comme illustré, sous les ailes 2, mais d'autres dispositions alternatives, par exemple à l'arrière du fuselage de l'aéronef 1, sont également envisageables.

[0040] Comme illustré sur la [Fig.2], le propulseur 10 peut aussi comprendre un moteur à turbine à gaz 11 et un réducteur 12. Dans le sens de l'écoulement de l'air, ce moteur à turbine à gaz 11 peut comprendre un compresseur basse pression 13, un compresseur haute pression 14, une chambre de combustion 15, une turbine haute pression 16, une turbine basse pression 17 et une tuyère 18, entourés par un carénage 19 aboutissant dans la tuyère 18. La turbine haute pression 16 peut être reliée au compresseur haute pression 14 par un premier arbre rotatif 21 pour l'entraînement de ce dernier, tandis que la turbine basse pression 17 peut être reliée au compresseur basse pression 13 par un deuxième arbre rotatif 22 coaxial au premier arbre rotatif 21, de manière analogue. Le réducteur 12 peut relier le deuxième arbre rotatif 22 à la soufflante propulsive 100 pour l'actionnement de cette dernière. Bien que dans l'exemple illustré la soufflante propulsive 100 soit disposée à l'avant du propulseur 10, dans une configuration dite « puller », il est également envisageable de la disposer à l'arrière du propulseur, en configuration « pusher ».

[0041] En complément ou remplacement du moteur à turbine à gaz 11, le propulseur 10 pourrait toutefois comprendre un autre type de moteur, et en particulier un moteur électrique, pour l'actionnement de la soufflante, directement et/ou à travers une transmission telle que le réducteur 12. Le propulseur 10 pourrait donc ainsi être un propulseur hybride, en série ou parallèle, ou même purement électrique.

[0042] La soufflante propulsive 100 peut comprendre deux rangées de pales : une première rangée de pales 110 et une deuxième rangée de pales 120, en aval de la première rangée de pales 110. Les deux rangées peuvent notamment être coaxiales, avec les pales des deux rangées 110, 120 disposées radialement autour du même axe central X. Chacune des rangées peut contenir, par exemple, entre 8 et 16 pales, en particulier entre 10 et 14 pales. Toutefois, la première rangée de pales 110 et la deuxième rangée de pales 120 peuvent ne pas avoir un même nombre de pales. En particulier, la première rangée peut avoir au moins 2 pales de plus que la deuxième rangée.

[0043] La première et/ou la deuxième rangée de pales 110, 120 peuvent présenter un diamètre extérieur D_e d'entre 1 et 6 mètres, en particulier d'entre 3 et 5 mètres. La première et/ou la deuxième rangée de pales 110, 120 peut avoir un facteur de solidité inférieur à 2,5 le long de l'envergure (des pieds de pale aux têtes de pale), et en particulier un facteur de solidité inférieur à 0,5 en tête de pale. On entend par « facteur de solidité », dans le contexte du présent exposé, comme le rapport entre la corde c, c'est-à-dire la distance entre le bord d'attaque BA et le bord de fuite BF dans un plan

perpendiculaire à un axe radial Z perpendiculaire à l'axe central X, et la distance entre les axes radiaux Z correspondants de deux pales 110, 120 adjacentes dans la même rangée, à la même distance radiale de l'axe central que le plan dans lequel la corde c est mesurée.

[0044] Dans un premier mode de réalisation illustré sur les figures 1 à 3, la soufflante propulsive 100 peut être dépourvue de carénage autour des première et deuxième rangées de pales 110, 120. Dans ce cas, la soufflante propulsive 100 peut être de type « USF », dans lequel seulement la première rangée de pales 110 est entraînée en rotation par le moteur à turbine à gaz 11 à travers le réducteur 12, ou de type « CROR », dans lequel la première et la deuxième rangée de pales 110, 120 sont entraînées en rotation dans des sens opposés par le moteur à turbine à gaz 11 à travers le réducteur 12.

[0045] Dans tous les cas, chacune des pales 110,120 peut comporter un corps profilé s'étendant radialement, par rapport à l'axe central X, sur une envergure H d'un pied de pale 113,123 à un diamètre intérieur D_i de la rangée correspondante à une tête de pale 114, 124 au diamètre extérieur D_e de la rangée correspondante, comme illustré sur la [Fig.3]. Toutefois, les diamètres intérieur D_i et/ou extérieur D_e de la première rangée peuvent être différents des diamètres intérieur D_i et/ou extérieur D_e de la deuxième rangée. Pour chaque rangée, l'envergure H des pales 110,120, correspondant à la moitié de la différence entre les diamètres extérieur D_e et intérieur D_i correspondants, peut donc être différente. En particulier, le diamètre extérieur D_e de la deuxième rangée de pales 120 peut être inférieur au diamètre extérieur D_e de la première rangée de pales 110 afin de limiter ou éviter l'interaction des pales 120 de la deuxième rangée avec les tourbillons de bout de pale de la première rangée de pales 110. Il est également possible que, dans l'une et/ou l'autre des première et deuxième rangées de pales 110, 120, l'envergure H des pales 110, 120 soit hétérogène, c'est-à-dire qu'au moins deux pales 110, 120 d'une même rangée de pales présentent des envergures H différentes. En particulier, les pales 120 de la deuxième rangée peuvent avoir une troncature (en anglais : « clipping ») variable par rapport au diamètre extérieur D_e de la première rangée de pales 110, afin d'éviter l'interaction avec les tourbillons détachés par l'extrémité des pales 110 de la première rangée lors des phases de vol en incidence et ainsi réduire le bruit lors des phases de vol en incidence, telles que le décollage et/ou l'atterrissage. En effet, cette interaction peut être une source de bruit dominante qui peut réduire ou masquer partiellement les bénéfices apportés par les dents de scie sur les bords d'attaque BA des pales 120 de la deuxième rangée.

[0046] Le corps profilé de chaque pale 110,120 peut être formé par des profils aérodynamiques (ou « coupes ») empilés du pied de pale 113,123 à la tête de pale 114, 124 suivant un axe radial d'empilement Z, Z' correspondant, perpendiculaire à l'axe central X, de manière à former, comme illustré sur la [Fig.4A], un intrados 111,121 et un

extrados 112,122 s'étendant chacun d'un bord d'attaque BA à un bord de fuite BF. Chacun de ces profils aérodynamiques est donc défini dans un plan correspondant perpendiculaire à l'axe radial Z, Z'. Par exemple, pour une coupe ou profil aérodynamique de la pale 110, 120, le bord d'attaque BA peut être défini comme l'extrémité amont suivant la direction d'écoulement du fluide. Le bord d'attaque BA peut être caractérisé par un minimum local sur le rayon de courbure définissant le profil dans sa partie amont. Le bord de fuite BF peut être défini comme l'extrémité aval suivant la direction d'écoulement du fluide. Le bord de fuite BF peut aussi être caractérisé par un minimum local sur le rayon de courbure définissant le profil dans sa partie arrière lorsque le bord de fuite BF est arrondi, quoique, pour simplifier le procédé de fabrication, le bord de fuite BF peut alternativement être tronqué, comme illustré sur la [Fig.4B].

[0047] Chacun des profils empilés présente une corde c qui est définie comme la distance entre le bord d'attaque BA et le bord de fuite BF sur une ligne droite les reliant et présentant un angle de calage γ par rapport à un plan perpendiculaire à l'axe central X. Conventionnellement, l'angle de calage γ d'un profil aérodynamique correspond à l'angle formé entre, d'une part, un premier axe 150 qui est défini par l'intersection entre le plan du profil aérodynamique à la distance radiale r et un plan perpendiculaire à l'axe central X, et d'autre part, une ligne droite reliant le bord d'attaque BA et le bord de fuite BF du profil aérodynamique à la distance radiale r. L'angle de calage γ est mesuré du côté amont du plan perpendiculaire à l'axe central X. L'angle de calage γ peut être mesuré positivement selon un sens allant du premier axe 150 à la ligne droite reliant le bord d'attaque BA et le bord de fuite BF, et plus particulièrement dans un sens coïncidant avec le sens allant de la ligne d'intrados 111,121 vers la ligne d'extrados 112,122.

[0048] Ces coupes ou profils aérodynamiques peuvent notamment être cambrés. Plus particulièrement, dans chaque coupe ou profil aérodynamique, une ligne de squelette S, qui est un segment reliant le bord d'attaque BA au bord de fuite BF et équidistante de l'intrados 111,121 et de l'extrados 112,122 sur toute sa longueur, peut être cambrée, de manière à présenter, par rapport à une direction parallèle à l'axe central X, un angle d'inclinaison β_1 au bord d'attaque BA et un angle d'inclinaison β_2 au bord de fuite BF. La cambrure de la coupe ou profil aérodynamique peut être définie comme le rapport f/c entre une distance maximale f, perpendiculairement à la ligne de la corde c, de la ligne de squelette S à la ligne de la corde c, et la corde c.

[0049] Chaque coupe ou profil aérodynamique peut aussi présenter une épaisseur maximale e pouvant être définie comme la distance maximale, perpendiculairement à la ligne de squelette S, entre l'intrados 111, 121 et l'extrados 112,122. La corde c, l'angle de calage γ, les angles d'inclinaison β_1 en bord d'attaque et β_2 en bord de fuite BF, la

cambrure f/c, et l'épaisseur e peuvent tous être variables sur l'envergure H de chaque pale 110, 120. Notamment, l'épaisseur e peut présenter un maximum à proximité du pied de pale 113,123, en particulier à moins de 20% de l'envergure H du pied de pale 113,123, encore plus particulièrement à moins de 10% de l'envergure H du pied de pale 113,123. Cela permet de renforcer la tenue mécanique de la pale 110, 120.

[0050] Chacune des pales 110,120 peut avoir un allongement égal au diamètre extérieur D_e de la rangée correspondante, multiplié par un coefficient entre 0,3 m^{-1} et 1,2 m^{-1}, en particulier entre 0,4 m^{-1} et 0,8 m^{-1}. On entend par « allongement », dans le contexte du présent exposé, le rapport entre la hauteur H, et la corde moyenne C de la pale. Quant à la corde moyenne C, elle peut être calculée à partir de la distribution c(r) de la corde locale c en fonction de la distance radiale r à l'axe central X, suivant l'équation :

$$C = \frac{2}{D_e - D_i} \int_{D_i/2}^{D_e/2} c(r)\,dr$$

[0051] Par ailleurs, chacune des pales 120 de la deuxième rangée peut avoir un facteur d'activité relativement faible, par exemple entre 40 et 225, en particulier entre 90 et 160. On comprend par « facteur d'activité », dans le contexte du présent exposé, la valeur FA résultant de l'équation suivante, dans laquelle ξ correspond au double du rapport entre la distance radiale r par rapport à l'axe central X et le diamètre extérieur D_e :

$$FA = \frac{100000}{16} \int_{\frac{D_i}{D_e}}^{1} \frac{c(\xi)}{D_e} \xi^3 d\xi$$

[0052] Un facteur d'activité FA relativement faible implique donc une corde relativement importante à proximité du pied de pale 123, ce qui peut faciliter le redressement de l'écoulement en aval de la première rangée de pales 110, avec un avantage aéro-dynamique conséquent, tout en optimisant la réduction du bruit grâce à de dents de scie plus prononcées.

[0053] La distance axiale entre les axes d'empilement Z, Z' des deux rangées peut être, par exemple, entre 0,005 et 0,5, en particulier entre 0,18 et 0,3 fois le diamètre extérieur D_e de la première rangée de pales 110, et surtout suffisante pour empêcher l'interférence des bords de fuite BF des pales 110 avec les bords d'attaque des aubes 120. Chacune des pales 110 et/ou 120 peut être rotative autour d'un axe radial ou axe de changement de calage, qui peut notamment être l'axe d'empilement Z, Z' correspondant, afin de régler son calage et donc son incidence par rapport à la direction d'écoulement de l'air selon la phase de vol. Cet axe de changement de calage peut être de préférence perpen-diculaire à l'axe central X, de manière alternative incliné par rapport à l'axe central X.

[0054] Afin de profiter de l'augmentation de la pression dynamique de l'air en aval de la première rangée de pales 110, une entrée d'air 20 du moteur à turbine à gaz 11, peut notamment être disposée entre les pales 110 et les aubes 120. Cette entrée d'air 20 peut

par exemple être annulaire, avec un bec 23 séparant l'entrée d'air 20 du carénage 19, comme illustré sur la [Fig.3].

[0055] Le bord d'attaque BA d'au moins une pale 120 de la deuxième rangée de pales 120 peut être au moins partiellement en dents de scie et présenter un nombre N de dents avec des hauteurs de dents h_j où j=1,2,...N par ordre croissant dans la direction radiale du pied de pale 123 à la tête de pale 124, et un nombre M d'espacements λ_k entre sommets de dents adjacentes, où k=1,2,...M aussi par ordre croissant dans la direction radiale du pied de pale 123 à la tête de pale 124, et $M \leq N-1$. Le nombre N de dents peut être égal ou supérieur à 3, par exemple entre 3 et 10, plus particulièrement entre 4 et 6, afin d'obtenir une réduction de bruit significative tout en limitant les éventuelles pertes aérodynamiques liées aux dents.

[0056] Les espacements λ_k peuvent varier, et notamment décroitre de manière monotone en direction radiale vers la tête de pale 124, de telle manière que $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \lambda_3 \geq \ldots \lambda_{M-1} \geq \lambda_M$. Ainsi, tout rapport entre espacements adjacents λ_k et λ_{k+1} peut être entre 1 et 1,6, en particulier entre 1,05 et 1,4. Comme illustré sur les figures 2 et 3A, tous les espacements peuvent être différents, de manière que $\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3 \ldots \lambda_{M-1} > \lambda_M$. En particulier, chaque rapport entre espacements adjacents λ_k et λ_{k+1} peut être approximativement égal à un plus l'inverse d'un nombre entier positif. Alternativement, il est néanmoins envisageable que certains des espacements soient identiques, tout en maintenant un décroissement, ou une croissance, monotone sur l'ensemble des espacements.

[0057] En regard des bords d'attaque BA des pales 120 de la deuxième rangée de pales 120, les bords de fuite BF des pales 110 de la première rangée de pales peuvent également être au moins partiellement en dents de scie, avec des sommets de dents et des creux alternés. En particulier, afin de permettre un rapprochement des axes radiaux Z, Z' d'empilement respectifs des pales 110 de la première rangée de pales 110 et des pales 120 de la deuxième rangée de pales 120, et ainsi un meilleur rendement aérodynamique, tout en évitant le contact entre les pales 110, 120 des deux rangées, les creux des bords de fuite BF des pales 110 de la première rangée peuvent être sensiblement alignés, en direction axiale parallèle à l'axe central X, avec les sommets des bords d'attaque BA des pales 120 de la deuxième rangée et, inversement, les sommets des bords de fuite BF des pales 110 de la première rangée peuvent être sensiblement alignés, en direction axiale parallèle à l'axe central X, avec les creux des bords d'attaque BA des pales de la deuxième rangée. Ces alignements des creux des dents au bord de fuite BF des pales 110 et des sommets des dents au bord d'attaque BA des pales 120, ou vice-versa, permettent de maximiser les gains acoustiques et donc la réduction de bruit d'interaction. En effet, le déficit de vitesse et donc l'excitation aérodynamique du sillage des pales 110 augmente au niveau des creux des dents au bord de fuite BF des pales 110 de la première rangée, ce qui peut être compensé par une

réponse acoustique réduite au niveau du sommet des dents au bord d'attaque des pales 120 de la deuxième rangée.

[0058] Ainsi, la distance par rapport à l'axe central X, en direction radiale perpendiculaire à l'axe central X, de chaque creux dans le bord de fuite BF de chaque pale 110 de la première rangée peut être sensiblement identique à la distance par rapport à l'axe X, en direction radiale perpendiculaire à l'axe central X, d'un sommet de dent correspondant dans le bord d'attaque BA de chacune des pales 120 de la deuxième rangée, et la distance par rapport à l'axe central X, en direction radiale perpendiculaire à l'axe central X, de chaque sommet de dent dans le bord de fuite BF de chaque pale 110 de la première rangée peut être sensiblement identique à la distance par rapport à l'axe X, en direction radiale perpendiculaire à l'axe central X, d'un creux correspondant dans le bord d'attaque BA de chacune des pales 120 de la deuxième rangée. Par distances « sensiblement identiques », dans le cadre du présent exposé, on entend qu'elles ne diffèrent de plus de 10%, voire 5%, ou même 3% de la plus grande envergure H des pales 110, 120 des première ou deuxième rangées.

[0059] Au moins une des dents du bord d'attaque BA d'au moins une des pales 120 de la deuxième rangée de pales 120 peut être inclinée vers l'axe central X. Ainsi, comme illustré en détail sur la [Fig.5], pour au moins un sommet de dent inclinée une première distance d_a, en direction radiale, du sommet de dent inclinée à un premier creux adjacent du sommet de dent inclinée, plus proche de l'axe central X que le sommet de dent inclinée, est inférieure à une deuxième distance d_b, en direction radiale, du premier creux adjacent du sommet de dent inclinée à un sommet de dent adjacente, encore plus proche de l'axe central X que le premier creux adjacent du sommet de dent inclinée, et à une troisième distance d_c, en direction radiale, du sommet de dent inclinée à un deuxième creux adjacent du sommet de dent inclinée, plus éloigné de l'axe central X que le sommet de dent inclinée.

[0060] Ainsi, une ligne droite reliant le sommet de dent inclinée à un point équidistant des premier et deuxième creux adjacents du sommet de dent inclinée sur une ligne droite reliant les premier et deuxième creux adjacents du sommet de dent inclinée peut présenter, par rapport à une ligne parallèle à l'axe central X traversant ledit point équidistant des premier et deuxième creux adjacents du sommet de dent inclinée, un angle d'inclinaison θ_i vers l'axe central X inférieur à 60° et en particulier inférieur à 45° et/ou supérieur à 10°.

[0061] Par ailleurs, plusieurs des dents, voire l'ensemble des dents du bord d'attaque BA de chaque pale 120 de la deuxième rangée, peuvent être ainsi inclinées vers l'axe central X. L'angle d'inclinaison θ de chaque dent successive peut être décroissant vers l'axe central X, de telle manière que, comme illustré aussi sur la [Fig.5], une ligne droite reliant ledit sommet de dent adjacente à un point équidistant de deux creux adjacents

dudit sommet de dent adjacente sur une ligne droite reliant les deux creux adjacents dudit sommet de dent adjacente présente, par rapport à une ligne parallèle à l'axe central X traversant ledit point équidistant des deux creux adjacents du sommet de dent adjacente, un angle d'inclinaison θ_{i-1} vers l'axe central X inférieur à l'angle d'inclinaison θ_i. On peut ainsi obtenir une loi d'inclinaison décroissante monotone pour les dents successives en direction de l'axe central X, ou croissante monotone dans le sens inverse, de telle manière que $\theta_1 \leq \theta_2 \leq \ldots \leq \theta_N$, et $\theta_1 < \theta_N$, où i=1,2,...N par ordre croissant en direction radiale du pied de pale 123 à la tête de pale 124.

[0062] Suite à la cambrure des profils empilés de la pale 120, les variations de la corde c peuvent être accompagnées de variations de l'angle de calage γ, de l'angle d'inclinaison β_1 au bord d'attaque BA, et/ou de la cambrure f/c, comme respectivement illustré sur les figures 6A à 6C, afin d'optimiser le fonctionnement aérodynamique de la pale 120. Ainsi, comme illustré sur la [Fig.6A], l'angle de calage γ peut être plus prononcé pour un profil p_{sd} au niveau d'un sommet de dent que pour un profil p_c au niveau d'un creux adjacent. A l'inverse, l'angle complémentaire 90°- γ, qui est l'angle d'une ligne droite reliant le bord d'attaque BA au bord de fuite BF par rapport à une direction parallèle à l'axe central X, pourra être supérieur pour le profil p_c au niveau du creux adjacent que pour le profil p_{sd} au niveau du sommet de dent . Alternativement ou en complément, l'angle d'inclinaison β_1 au bord d'attaque BA peut être supérieur pour le profil p_c au niveau du creux adjacent que pour le profil p_{sd} au niveau du sommet de dent, comme illustré sur la [Fig.6B], et/ou la cambrure f/c peut être supérieure pour le profil p_c au niveau du creux adjacent que pour le profil p_{sd} au niveau du sommet de dent, comme illustré sur la [Fig.6C]. Les trois options, séparément ou de manière combinée, peuvent permettre de réduire l'incidence et la vitesse et/ou l'accélération de l'écoulement au niveau du creux et donc d'y supprimer ou au moins réduire le décollement de l'écoulement et/ou la génération de tourbillons et/ou la génération de chocs, et donc les pertes aérodynamiques.

[0063] Bien que dans le mode de réalisation illustré sur les figures 1 à 6C le bord d'attaque BA de la pale 120 soit en dents de scie sur sensiblement toute l'envergure H de la pale 120, il est alternativement envisageable que ce bord d'attaque BA soit dépourvu de sommets de dents sur une partie de l'envergure de la pale 120. En particulier, suivant un deuxième mode de réalisation illustré à titre d'exemple sur la [Fig.7], le bord d'attaque BA de la pale 120 peut ne présenter aucun sommet de dent à une distance radiale, par rapport à la tête de pale 124, de moins de 15% de l'envergure H. Ainsi, tout angle de flèche α, par rapport à la direction radiale, du bord d'attaque BA de la pale 120, à une distance radiale de la tête de pale H inférieure à 15% de l'envergure, peut être supérieur à 50°. La flèche de la pale 120 peut encore augmenter vers la tête de pale, de telle manière que tout angle de flèche α par rapport à la direction radiale, du

bord d'attaque BA de la pale 120, à une distance radiale de la tête de pale inférieure à 5% de l'envergure, soit supérieur à 55°.

[0064] Par ailleurs, bien que dans les modes de réalisation précédents la soufflante propulsive ne soit pas carénée, il est aussi alternativement envisageable, comme dans un troisième mode de réalisation illustré à titre d'exemple sur les figures 8 et 9, que la soufflante propulsive 100 soit une soufflante carénée, comportant aussi une nacelle 130 entourant les première et deuxième rangées de pales 110, 120. Cette nacelle 130 peut par ailleurs comprendre aussi un carter de rétention 140 autour des pales 110, avec un abradable pour limiter les dégâts en cas de contact entre l'extrémité radialement externe des pales 110 et le carter, et/ou des traitements acoustiques pour la réduction de bruit. Dans ce cas, la deuxième rangée de pales 120 peut être statorique autour de l'axe central X, de manière à pouvoir servir non seulement l'écoulement en aval de la première rangée de pales 110, mais aussi à soutenir la nacelle 130. Dans un tel stator, le nombre de pales 120 de redresseur peut par exemple être deux fois supérieur au nombre de pales 110 du rotor en additionnant 4 à ce produit. Il serait néanmoins aussi envisageable, dans une soufflante propulsive 100 carénée, que la deuxième rangée de pales 120 soit contrarotative par rapport à la première rangée de pales 110.

[0065] Quoique la présente invention ait été décrite en se référant à des exemples de réalisation spécifiques, il est évident que des différentes modifications et changements peuvent être effectués sur ces exemples sans sortir de la portée générale de l'invention telle que définie par les revendications. En outre, des caractéristiques individuelles des différents modes de réalisation évoqués peuvent être combinées dans des modes de réalisation additionnels. Par conséquent, la description et les dessins doivent être considérés dans un sens illustratif plutôt que restrictif.

Revendications

[Revendication 1] Soufflante propulsive (100) comprenant une première rangée de pales (110) et une deuxième rangée de pales (120) disposée en aval de la première rangée de pales (110), la première rangée de pales (110) étant apte à tourner autour d'un axe central (X) par rapport à la deuxième rangée de pales (120), chaque pale (110,120) des premières et deuxième rangées de pales (110, 120) ayant un intrados (111,121) et un extrados (112,122) s'étendant, en direction radiale par rapport à l'axe central (X), d'un pied de pale (113,123) à une tête de pale (114,124) et, dans une direction de largeur de la pale, d'un bord d'attaque (BA) à un bord de fuite (BF), le bord d'attaque (BA) d'au moins une pale (120) de la deuxième rangée de pales (120) étant au moins partiellement en dents de scie, avec une pluralité de sommets de dents intercalées entre des creux, dont au moins un sommet de dent inclinée pour lequel une première distance (d_a), en direction radiale, du sommet de dent inclinée à un premier creux adjacent du sommet de dent inclinée, plus proche de l'axe central (X) que le sommet de dent inclinée, est inférieure à une deuxième distance (d_b), en direction radiale, du premier creux adjacent du sommet de dent inclinée à un sommet de dent adjacente, encore plus proche de l'axe central (X) que le premier creux adjacent du sommet de dent inclinée, et à une troisième distance (d_c), en direction radiale, du sommet de dent inclinée à un deuxième creux adjacent du sommet de dent inclinée, plus éloigné de l'axe central (X) que le sommet de dent inclinée.

[Revendication 2] Soufflante propulsive (100) suivant la revendication 1, dans laquelle, dans ladite au moins une pale (120) de la deuxième rangée de pales (120), une cambrure et/ou un angle, par rapport à une direction parallèle à l'axe central (X), d'une ligne droite reliant le bord d'attaque (BA) au bord de fuite (BF) ou d'une ligne de squelette équidistante de l'intrados (121) et de l'extrados (122) au bord d'attaque (BA), sont supérieurs dans un profil de pale au niveau dudit premier creux adjacent que dans des profils de pale aux niveaux des sommets de dent inclinée et de dent adjacente.

[Revendication 3] Soufflante propulsive (100) suivant l'une quelconque des revendications précédentes, dans laquelle le bord d'attaque (BA) de chaque pale (120) de la deuxième rangée de pales (120) présente au moins trois sommets de dents.

[Revendication 4] Soufflante propulsive (100) suivant l'une quelconque des revendications précédentes, dans laquelle une ligne droite reliant le sommet de dent inclinée à un point équidistant des premier et deuxième creux adjacents du sommet de dent inclinée sur une ligne droite reliant les premier et deuxième creux adjacents du sommet de dent inclinée présente, par rapport à une ligne parallèle à l'axe central (X) traversant ledit point équidistant des premier et deuxième creux adjacents du sommet de dent inclinée, un angle d'inclinaison vers l'axe central (X) inférieur à 60° et en particulier inférieur à 45° et/ou supérieur à 10°.

[Revendication 5] Soufflante propulsive (100) suivant la revendication 4, dans laquelle une ligne droite reliant ledit sommet de dent adjacente à un point équidistant de deux creux adjacents dudit sommet de dent adjacente sur une ligne droite reliant les deux creux adjacents dudit sommet de dent adjacente présente, par rapport à une ligne parallèle à l'axe central (X) traversant ledit point équidistant des deux creux adjacents du sommet de dent adjacente, un angle d'inclinaison vers l'axe central (X) inférieur audit angle d'inclinaison de la ligne droite reliant le sommet de dent inclinée au point équidistant des premier et deuxième creux adjacents du sommet de dent inclinée.

[Revendication 6] Soufflante propulsive (100) suivant l'une quelconque des revendications précédentes, dans laquelle le bord d'attaque (BA) de ladite au moins une pale (120) de la deuxième rangée de pales (120) ne présente aucun sommet de dent à une distance radiale, par rapport à la tête de pale (124), de moins de 15% d'une envergure, en direction radiale, du pied de pale (123) à la tête de pale (124).

[Revendication 7] Soufflante propulsive (100) suivant la revendication 6, dans laquelle tout angle de flèche, par rapport à la direction radiale, du bord d'attaque (BA) d'au moins une pale (120) de la deuxième rangée de pales (120), à une distance radiale de la tête de pale (124) inférieure à 15% de l'envergure, est supérieur à 50°.

[Revendication 8] Soufflante propulsive (100) suivant la revendication 7, dans laquelle tout angle de flèche par rapport à la direction radiale, du bord d'attaque (BA) d'au moins une pale (120) de la deuxième rangée de pales (120), à une distance radiale de la tête de pale (124) inférieure à 5% de l'envergure, est supérieur à 55°.

[Revendication 9] Soufflante propulsive suivant l'une quelconque des revendications précédentes, dans laquelle au moins une pale (110, 120) des première et/ou deuxième rangées de pales (110, 120) est à calage variable autour d'un

axe radial (Z,Z') correspondant perpendiculaire à l'axe central (X).

[Revendication 10] Soufflante propulsive (100) suivant l'une quelconque des revendications précédentes, dans laquelle le bord d'attaque (BA) d'au moins une pale (120) de la deuxième rangée de pales (120) présente des espacements (λ_k) entre sommets de dents adjacentes qui décroissent de manière monotone en direction radiale vers la tête de pale (124).

[Revendication 11] Soufflante propulsive (100) suivant l'une quelconque des revendications précédentes, dans laquelle tout rapport entre espacements adjacents parmi lesdits espacements (λ_k) entre sommets de dents adjacentes est entre 1 et 1,6, en particulier entre 1,05 et 1,4.

[Revendication 12] Soufflante propulsive (100) suivant l'une quelconque des revendications précédentes, dans laquelle la deuxième rangée de pales (120) est stationnaire en rotation autour de l'axe central (X).

[Revendication 13] Soufflante propulsive (100) suivant l'une quelconque des revendications 1 à 11, dans laquelle la deuxième rangée de pales (120) est contra-rotative autour de l'axe central (X) par rapport à la première rangée de pales (110).

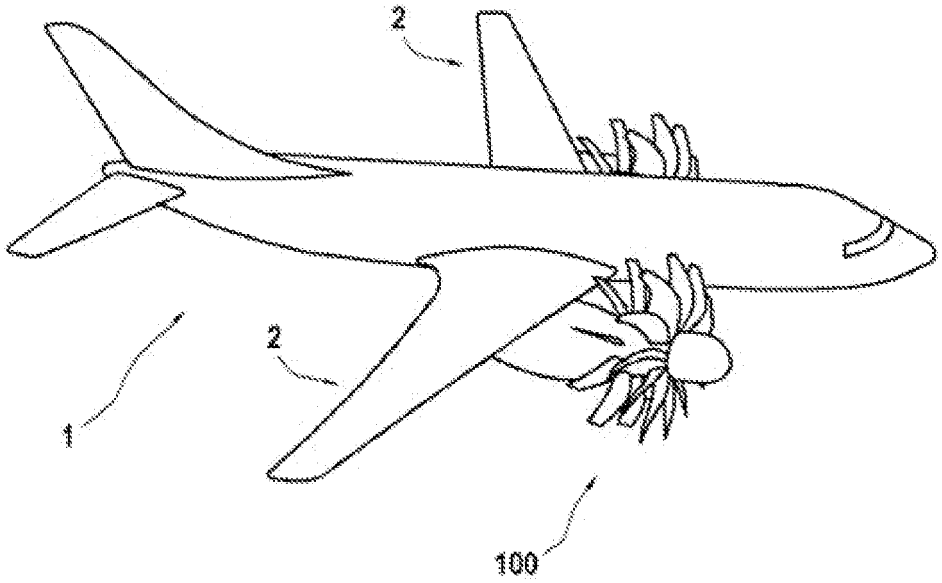
[Revendication 14] Soufflante propulsive (100) suivant l'une quelconque des revendications précédentes, sans carénage autour des première et deuxième rangées de pales (110, 120).

[Revendication 15] Soufflante propulsive (100) suivant l'une quelconque des revendications précédentes, comprenant en outre une nacelle (130) entourant au moins les première et/ou deuxième rangées de pales (110, 120).

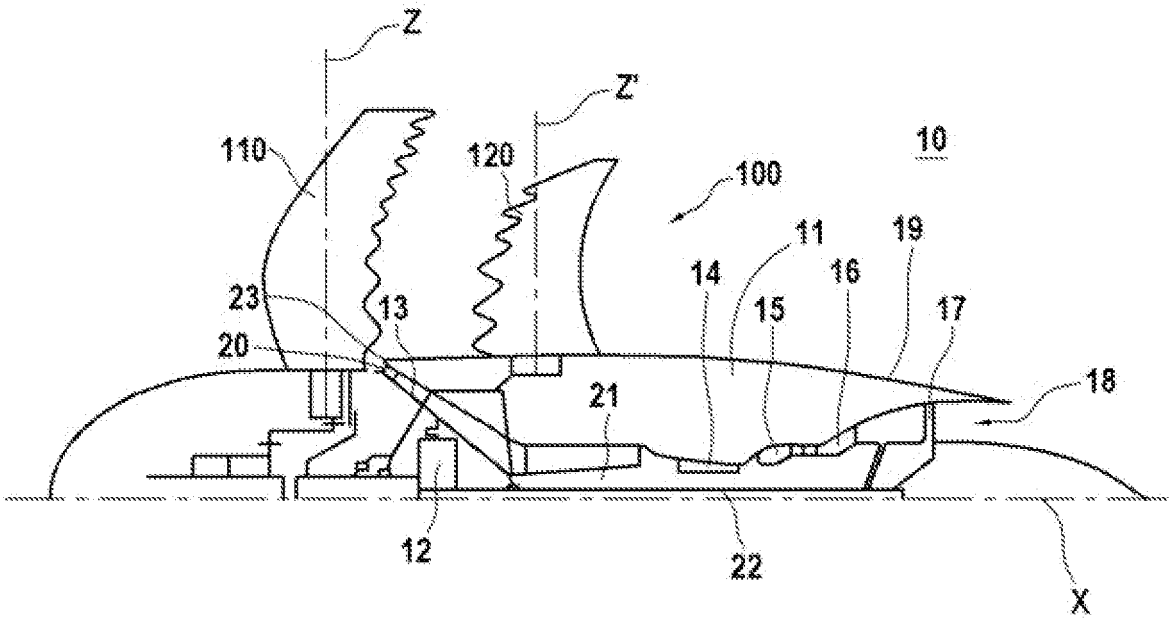
[Revendication 16] Propulseur (10) comprenant la soufflante propulsive (100) suivant l'une quelconque des revendications précédentes et un moteur à turbine à gaz (11) pour l'actionnement de la soufflante propulsive (100).

[Revendication 17] Aéronef (1) comprenant le propulseur (10) de la revendication 16.

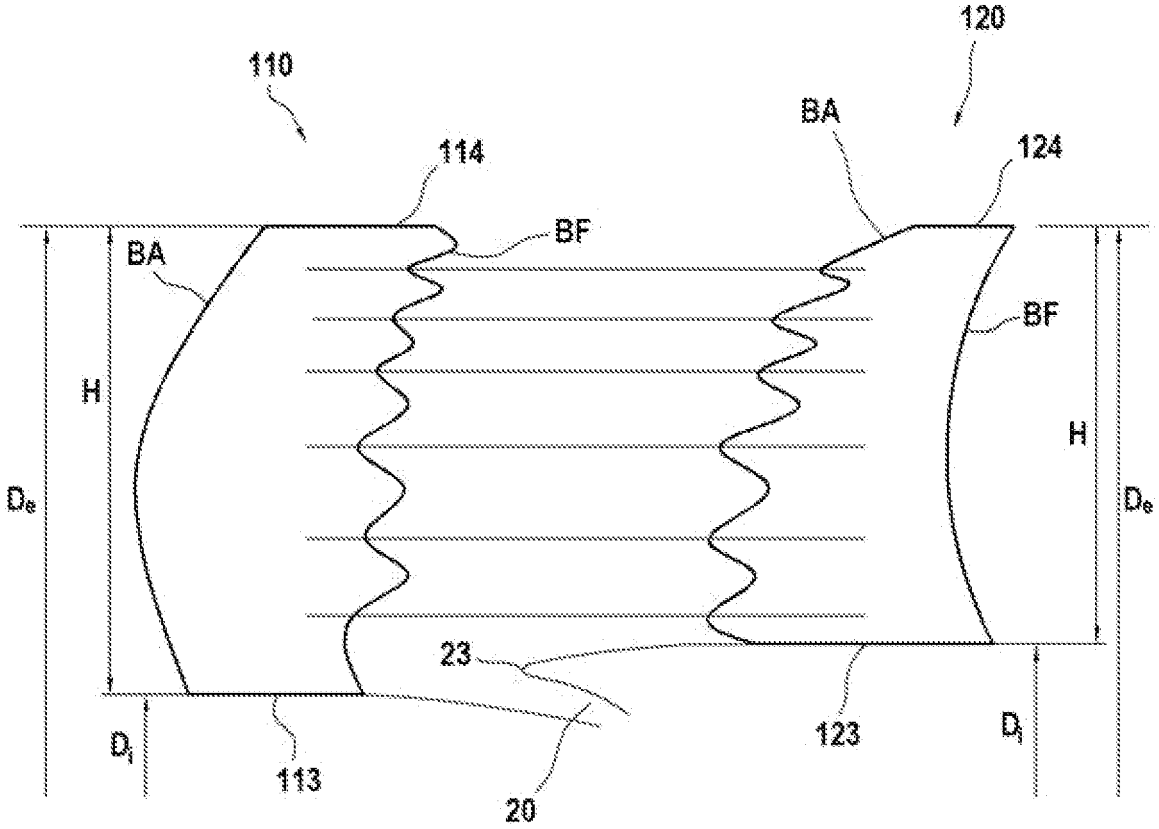
[Fig. 1]



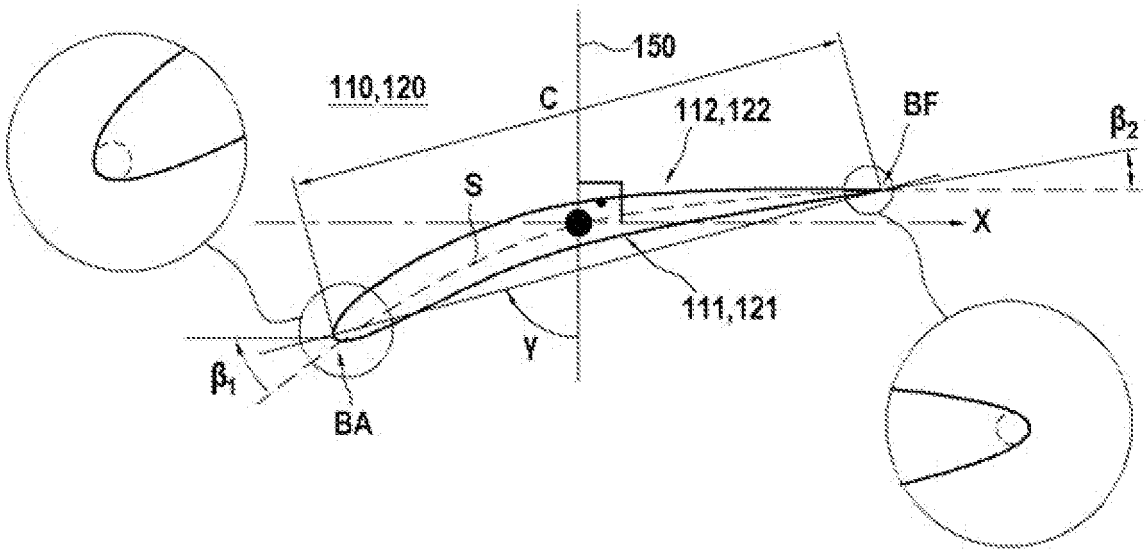
[Fig. 2]



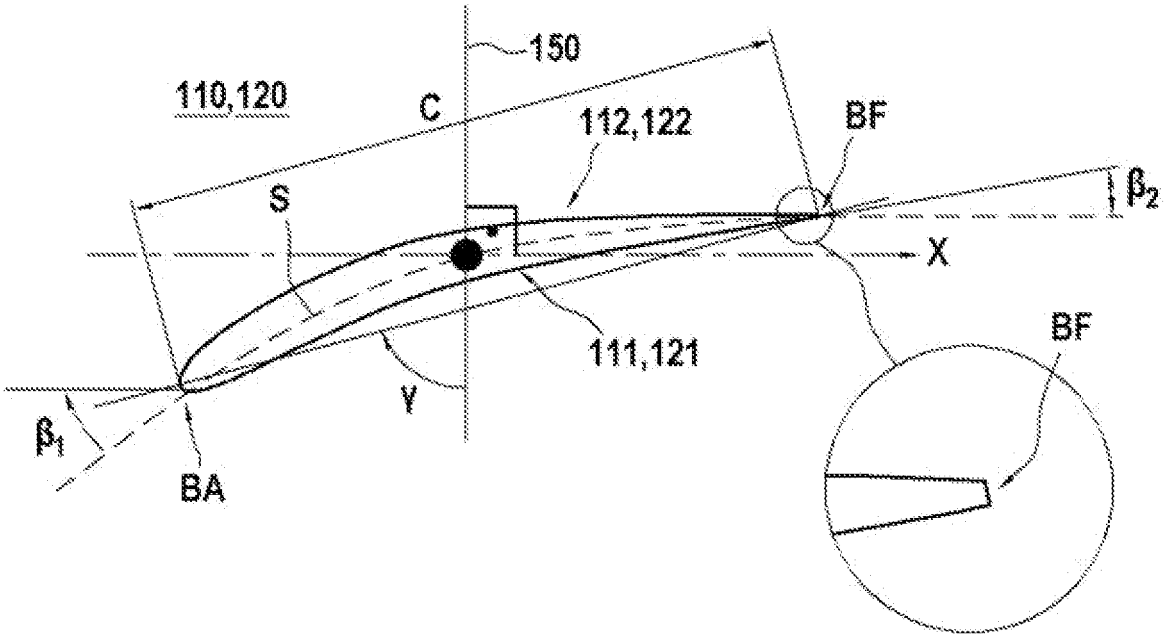
[Fig. 3]


110
120
114
BA
124
BF
BA
BF
H
H
De
De
23
Di
113
123
Di
20

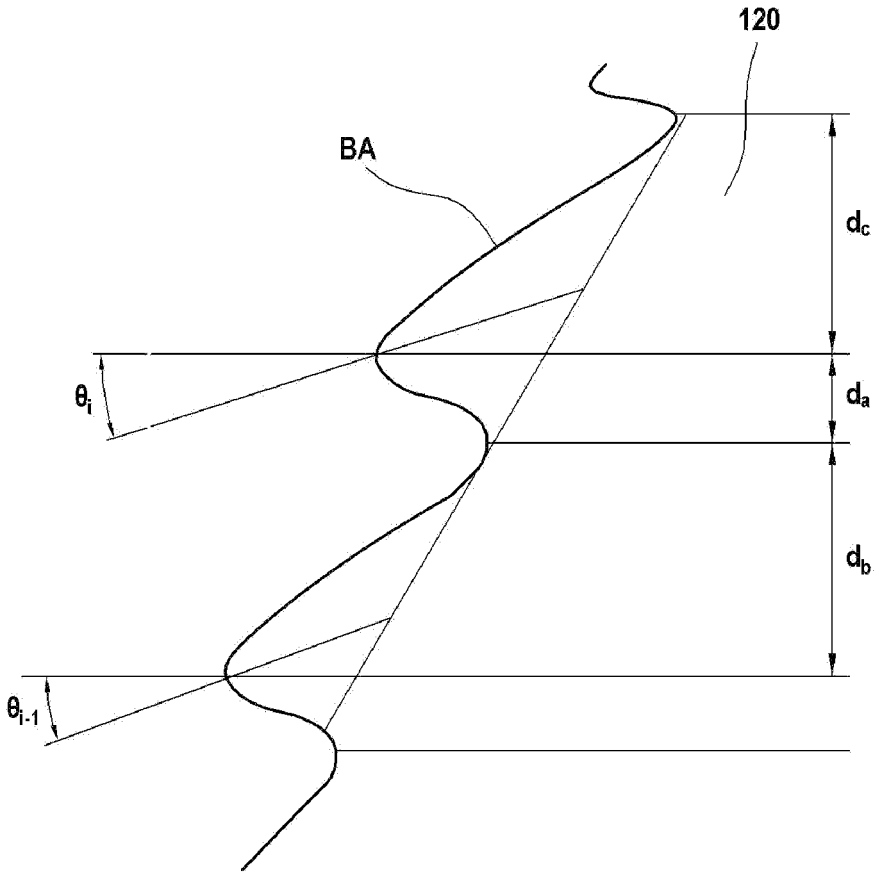
[Fig. 4A]


150
110,120
C
112,122
BF
β2
S
X
111,121
γ
β1
BA

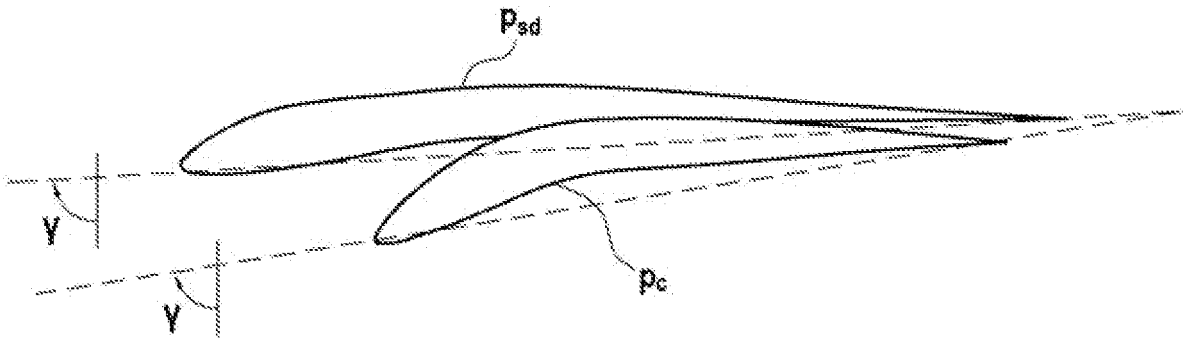
[Fig. 4B]


150
110,120
C
112,122
BF
S
β2
X
111,121
BF
γ
β1
BA

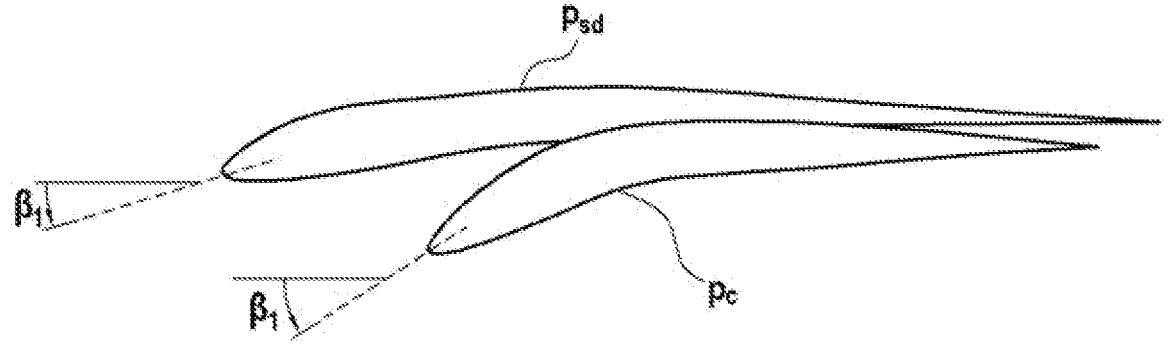
[Fig. 5]


120
BA
dc
θi
da
db
θi-1

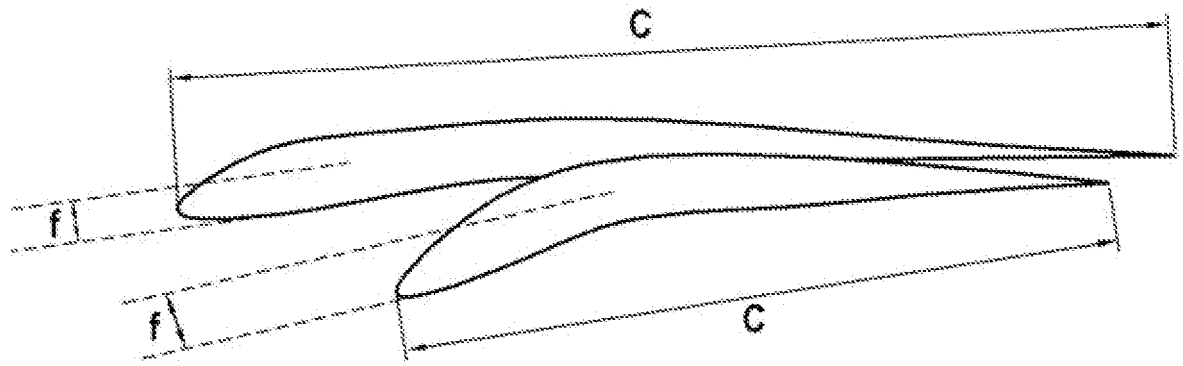
[Fig. 6A]



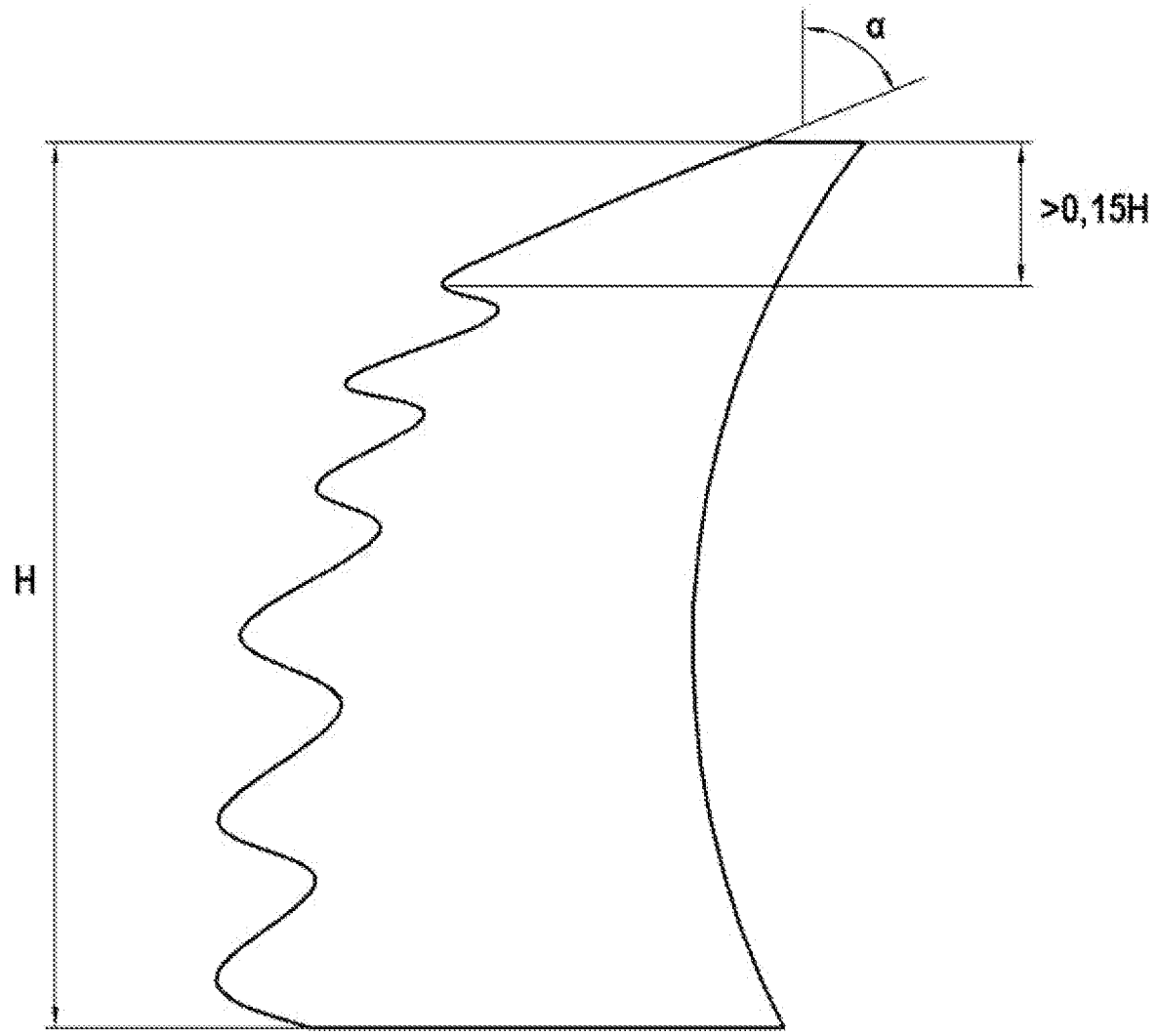
[Fig. 6B]



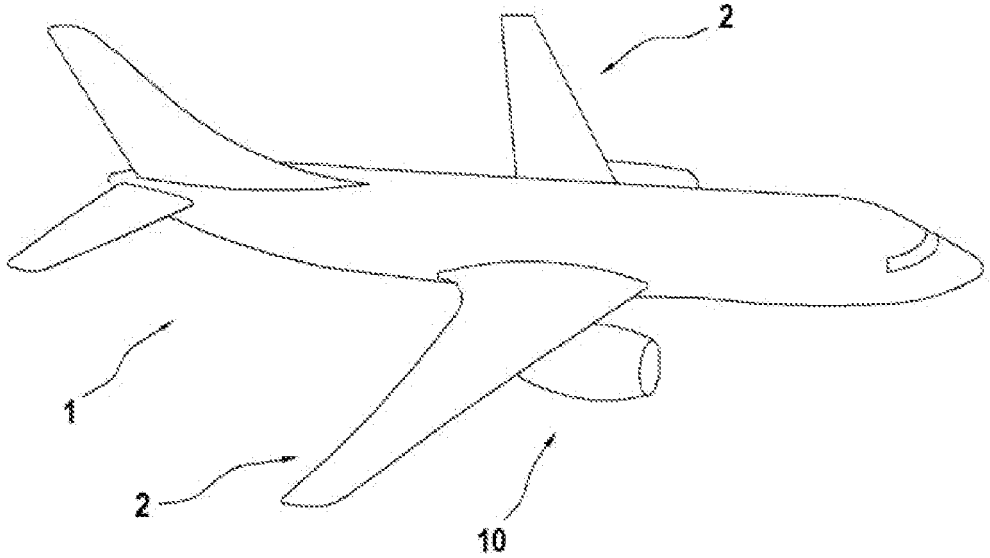
[Fig. 6C]



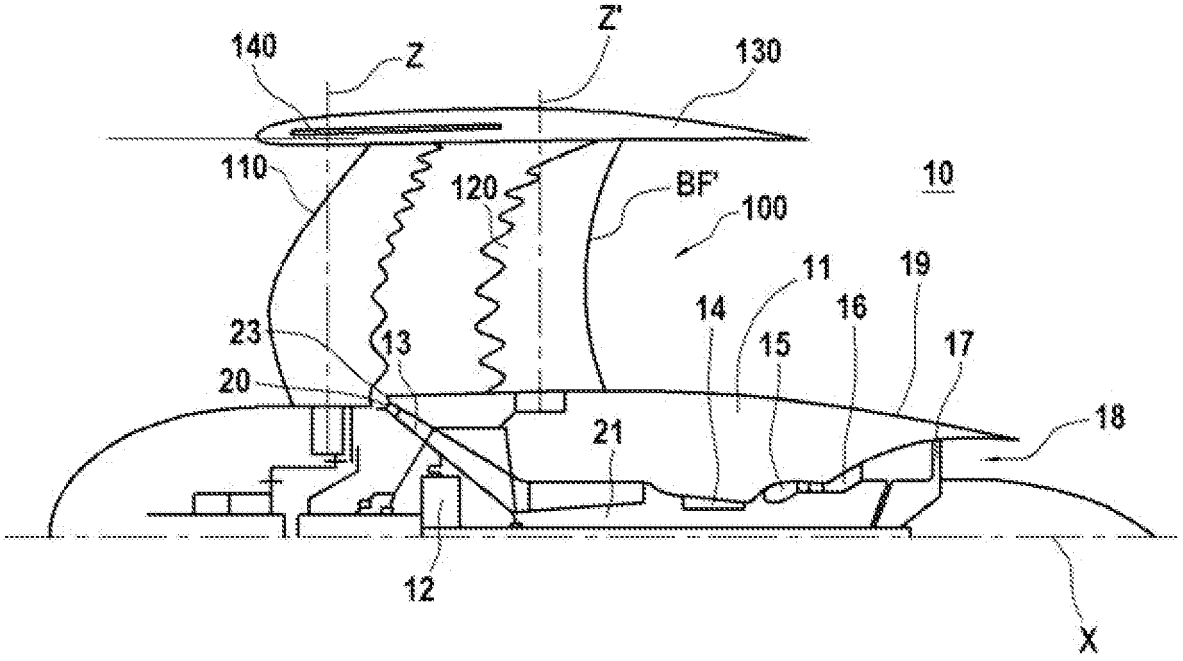
[Fig. 7]



[Fig. 8]



[Fig. 9]



RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement national

FA 927251
FR 2312434

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		
X Y A	US 2013/164488 A1 (WOOD TREVOR HOWARD [US] ET AL) 27 juin 2013 (2013-06-27) * alinéas [0029], [0030], [0032], [0038]; figures 1-4, 8, 10 * -----	1-3,6,9, 12-17 4 5	B64C 11/18 B64C 11/30 F01D 5/12 F02C 7/00
Y	US 2018/057141 A1 (SHORMANN DAVID E [US]) 1 mars 2018 (2018-03-01) * alinéa [0092]; figure 7; tableau 2 * -----	4	
X A	US 2023/123376 A1 (GEA AGUILERA FERNANDO [FR] ET AL) 20 avril 2023 (2023-04-20) * alinéas [0077], [0078], [0100] - [0102], [0108]; figures 1, 12, 13, 16, 23 * -----	1,3,4,6, 9-17 7,8	
X	US 2023/220776 A1 (HILLER SVEN-JUERGEN [DE]) 13 juillet 2023 (2023-07-13) * abrégé; figures 1-4 * * alinéas [0013] - [0015] * -----	1,3,4,9, 12-17	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) F04D F01D B64C

Date d'achèvement de la recherche	Examinateur
14 juin 2024	Brouillet, Bernard

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

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2312434 FA 927251

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 14-06-2024
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 2013164488 A1	27-06-2013	BR 112014015562 A2	13-06-2017
		CA 2859780 A1	06-09-2013
		CN 104114815 A	22-10-2014
		EP 2800875 A1	12-11-2014
		JP 5982498 B2	31-08-2016
		JP 2015503694 A	02-02-2015
		US 2013164488 A1	27-06-2013
		WO 2013130163 A1	06-09-2013
US 2018057141 A1	01-03-2018	AU 2017318578 A1	07-03-2019
		CA 3034893 A1	08-03-2018
		DK 3507461 T3	26-06-2023
		EP 3507461 A1	10-07-2019
		SG 11201901416Y A	28-03-2019
		US 2018057141 A1	01-03-2018
		WO 2018045116 A1	08-03-2018
US 2023123376 A1	20-04-2023	FR 3087483 A1	24-04-2020
		GB 2579137 A	10-06-2020
		GB 2606681 A	16-11-2022
		GB 2611423 A	05-04-2023
		US 2020148325 A1	14-05-2020
		US 2023123376 A1	20-04-2023
US 2023220776 A1	13-07-2023	DE 102022100315 A1	13-07-2023
		EP 4209657 A1	12-07-2023
		US 2023220776 A1	13-07-2023

EPO FORM P0465