

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 16.12.22.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la  
demande : 21.06.24 Bulletin 24/25.

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 Société par  
actions simplifiée (SAS) — FR.

72 Inventeur(s) : LAWNICZEK Baptiste Dorian,  
ESCURE Didier, René, André et MOUTON Clémentine  
Charlotte Marie.

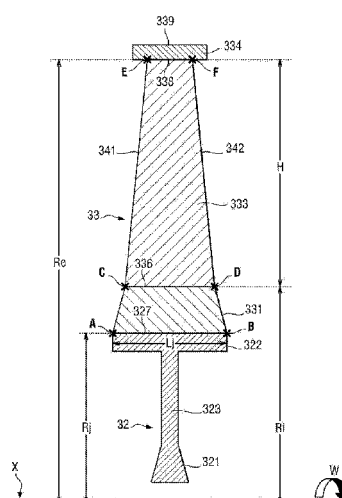
73 Titulaire(s) : Safran Aircraft Engines Société par  
actions simplifiée (SAS).

74 Mandataire(s) : REGIMBEAU.

54 SYSTEME PROPULSIF AERONAUTIQUE.

57 L'invention concerne une aube mobile de turbine (33)  
pour une roue mobile d'une turbine basse pression d'un sys-  
tème propulsif aéronautique, comprenant un pied (331), un  
talon (334), et une pale à profil aérodynamique (333) s'éten-  
dant depuis le pied (331) jusqu'au talon (334), de telle sorte  
que : est un rayon externe de veine, est un rayon interne de  
veine, et dans laquelle le rayon externe de veine et le rayon  
interne de veine sont choisis de telle sorte que : avec où :  
est une vitesse de rotation limite de l'arbre d'entraînement,  
et.

Figure pour l'abrégé: Figure 9



## **Description**

### **Titre de l'invention : système PROPULSIF AERONAUTIQUE**

#### **DOMAINE DE L'INVENTION**

[0001] L'invention concerne une aube mobile de turbine pour une roue mobile d'une turbine basse pression d'un système propulsif aéronautique, une roue mobile de turbine et un système propulsif aéronautique incluant une turbine ayant une telle roue.

#### **ETAT DE LA TECHNIQUE**

[0002] Un système propulsif aéronautique comporte généralement, d'amont en aval dans le sens de l'écoulement des gaz, une section de soufflante, une section de compresseur pouvant comprendre un compresseur basse pression et un compresseur haute pression, une chambre de combustion et une section de turbine pouvant comprendre une turbine haute pression et une turbine basse pression.

[0003] Lorsque le système propulsif est en fonctionnement, le compresseur haute pression est entraîné en rotation par la turbine haute pression par l'intermédiaire d'un arbre haute pression. La soufflante et, le cas échéant, le compresseur basse pression sont entraînés en rotation par la turbine basse pression par l'intermédiaire d'un arbre basse pression.

[0004] Un des objectifs de recherche technologique est d'améliorer les performances environnementales des avions. C'est pourquoi, dans toutes les phases de conception et de développement, les facteurs pertinents sont pris en compte 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, et ce dans un but d'amélioration de l'efficacité énergétique des avions.

[0005] Par exemple, afin d'améliorer le rendement propulsif d'un système propulsif aéronautique et de réduire sa consommation spécifique, il a été constaté qu'il est avantageux d'augmenter la vitesse de rotation de la turbine basse pression et du compresseur basse pression, et de diminuer la vitesse de rotation de la soufflante. De même, afin de limiter la traînée et la masse de l'avion, et ainsi réduire sa consommation de carburant, il a été constaté qu'il est avantageux de rendre les systèmes propulsifs plus compacts, c'est-à-dire de réduire l'encombrement de tout ou partie de leurs composants.

[0006] Toutefois, ce faisant, il apparaît que les composants tournants des systèmes propulsifs aéronautiques, notamment ceux présents au sein de la section de compresseur et de la section de turbine, sont soumis à des efforts centrifuges accrus, tout en présentant des dimensions plus réduites, ce qui est susceptible d'altérer leur tenue

mécanique et/ou limiter leur durée de vie.

### **Résumé de l'invention**

[0007] Un but du présent exposé est de réduire la consommation en carburant d'un système propulsif aéronautique sans pour autant limiter la durée de vie de ses composants tournants.

[0008] Ce but est atteint dans le cadre de la présente invention grâce à une aube mobile de turbine destinée à être montée autour d'un d'axe longitudinal dans une alvéole qui débouche à la périphérie externe d'un disque de rotor d'une roue mobile d'une turbine basse pression d'un système propulsif aéronautique, le disque de rotor étant destiné à être centré sur l'axe longitudinal et à comprendre une pluralité d'aubes mobiles de turbine réparties circonférentiellement à la périphérie externe du disque de rotor le système propulsif aéronautique étant destiné à comprendre un arbre d'entraînement et la roue mobile étant configurée pour entraîner l'arbre d'entraînement en rotation autour de l'axe longitudinal,

l'aube mobile de turbine s'étendant radialement vis-à-vis de l'axe longitudinal et comprenant un pied configuré pour être monté dans l'alvéole du disque de rotor, un talon, et une pale à profil aérodynamique s'étendant radialement depuis le pied jusqu'au talon, la pale à profil aérodynamique présentant un bord d'attaque et un bord de fuite,

dans laquelle le talon comprend une plateforme qui présente une surface radialement interne destinée à délimiter une veine de circulation de gaz,

dans laquelle le pied comprend une plateforme qui présente une surface radialement externe également destinée à délimiter la veine de circulation de gaz,

dans laquelle :

$R_e$  est un rayon externe de veine, le rayon externe de veine étant défini comme une moyenne d'une première distance radiale et d'une deuxième distance radiale, la première distance radiale étant une distance entre l'axe longitudinal et un point de jonction entre la surface radialement interne de la plateforme du talon et le bord d'attaque, et la deuxième distance radiale étant une distance entre l'axe longitudinal et un point de jonction entre la surface radialement interne de la plateforme du talon et le bord de fuite, en mètres,

$R_i$  est un rayon interne de veine, le rayon interne de veine étant défini comme une moyenne d'une troisième distance radiale et d'une quatrième distance radiale, la troisième distance radiale étant une distance entre l'axe longitudinal et un point de jonction entre la surface radialement externe de la plateforme du pied et le bord d'attaque, et la quatrième distance radiale étant une distance entre l'axe longitudinal et un point de jonction entre la surface radialement externe de la plateforme du pied et le

bord de fuite, en mètres,

dans laquelle le rayon externe de veine  $Re$  et le rayon interne de veine  $Ri$  sont choisis de telle sorte que :

$$\frac{Ri}{Re} > a \times N2S + b \text{ avec :}$$

$$N2S = \pi(Re^2 - Ri^2) \times w \text{ où :}$$

$w$  est une vitesse de rotation limite destinée à être atteinte par l'arbre d'entraînement en fonctionnement lorsque le système propulsif aéronautique fonctionne à puissance maximale continue, en nombre de tours par minute,

$$a = -0,0057, \text{ et}$$

$$b = 0,7561,$$

et dans laquelle le rayon externe de veine  $Re$  est compris dans une plage allant de 0,15 à 1,0 mètre et le rayon interne de veine  $Ri$  est compris dans une plage allant de 0,1 à 0,8 mètre.

[0009] L'aube mobile de turbine peut présenter l'une des caractéristiques suivantes :

[0010] Dans un mode de réalisation, le rayon externe de veine  $Re$  et le rayon interne de veine  $Ri$  sont choisis de telle sorte que :

$$\frac{Ri}{Re} > a \times N2S + b \text{ où } a = -0,0057, \text{ et } b = 0,8561.$$

[0011] Dans un mode de réalisation, le talon est formé en un matériau, et présente une difficulté  $\sigma$  définie comme :

$$\sigma = \rho \times \frac{\pi^2}{4} \times \frac{Re^3}{Z^2} \times \left( \frac{\pi w}{30} \right)^2 \text{ où :}$$

$\rho$  est une masse volumique du matériau en kilogrammes par mètres cubes,

$Z$  est le nombre de la pluralité d'aubes mobiles destinées à être montées à la périphérie externe du disque de rotor,

l'aube mobile de turbine étant destinée à être soumise à une température  $T$  lorsque l'arbre d'entraînement tourne à la vitesse de rotation limite  $w$ , et

$\rho$  et  $Re$  sont choisis de telle sorte que :

- si la température  $T$  est inférieure à 759°C :  $\sigma > 37.10^4$ ,

- si la température  $T$  est dans la plage allant de 759°C à 1083°C :  $\sigma > a \times T + b$ , où  $a = -524,69$ ,  $b = 6,482397110^5$ ,  $T$  étant en degrés Celsius,

- si la température  $T$  est dans la plage allant de 1083°C à 1117°C :  $\sigma > c \times T + d$ , où  $c = -3846,2$ ,  $d = 4,24543504.10^6$ , et  $T$  étant en degrés Celsius, et

- si la température  $T$  est supérieure à 1117°C :  $\sigma > 0$ ,

et la masse volumique du matériau  $\rho$  est comprise dans une plage allant de 2 à 10 kilogrammes par mètres cubes.

[0012] Dans un mode de réalisation,  $\rho$  et  $Re$  sont choisis de telle sorte que :

- si la température  $T$  est inférieure à 759°C :  $\sigma > 37.10^4$ ,

- pour une température  $T$  allant de 759°C à 1083°C :  $\sigma > a \times T + b$ , où  $a = -524,69$ ,  $b = 7,68241.10^5$ ,  $T$  étant en degrés Celsius,
- pour une température  $T$  allant de 1083°C à 1135°C :  $\sigma > c \times T + d$ , où  $c = -3846,2$ ,  $d = 4,365370.10^6$ ,  $T$  étant en degrés Celsius, et
- pour une température  $T$  supérieure à 1135°C :  $\sigma > 0$ .

[0013] Dans un mode de réalisation, le rayon externe  $Re$  et le rayon interne  $Ri$  sont choisis de telle sorte que :

- si la température  $T$  est inférieure ou égale à 700°C :  $N2S > 33,7.10^6 \text{ rpm}^2.\text{m}^2$ ,
- si la température  $T$  est supérieure à 700°C :  $N2S > a \times T + b$ , où  $a = -0,055$  et  $b = 72,2$ ,  $T$  étant en degrés Celsius.

[0014] Dans un mode de réalisation, le rayon externe  $Re$  et le rayon interne  $Ri$  sont choisis de telle sorte que :

- si la température  $T$  est inférieure ou égale à 700°C :  $N2S > 44.10^6 \text{ rpm}^2.\text{m}^2$ ,
- si la température  $T$  est supérieure à 700°C :  $N2S > a \times T + b$ , où  $a = -0,055$  et  $b = 82,5$ ,  $T$  étant en degrés Celsius.

[0015] Dans un mode de réalisation, le disque mobile de turbine est destiné à présenter une surface amont, une surface avale, et chaque alvéole du disque étant destinée à être délimitée par une surface de fond d'alvéole, et

un paramètre  $\frac{F}{SL}$  est défini comme :

$$\frac{F}{SL} = N2S \times Rm \times H \times \frac{w}{Rj \times Lj} \text{ avec :}$$

$$Rm = \frac{Re+Ri}{2} \text{ où :}$$

$H$  est une hauteur de veine, la hauteur de veine étant définie comme une différence entre le rayon externe de veine  $Re$  et le rayon interne de veine  $Ri$ , en mètres,

$Rj$  est un rayon de jante, le rayon de jante étant défini comme la plus petite distance radiale entre l'axe longitudinal et la surface de fond d'alvéole, en mètres,

$Lj$  est une épaisseur de jante, l'épaisseur de jante étant définie comme une distance axiale entre un point de jonction de la surface amont du disque mobile de turbine et de la surface de fond d'alvéole, et un point de jonction de la surface avale du disque mobile de turbine et de la surface de fond d'alvéole, en mètres,

et le rayon externe de veine  $Re$  et le rayon interne de veine  $Ri$  sont choisis de telle sorte que :

$$\frac{F}{SL} > a \times T + b \text{ où } a = -0,6976 \text{ et } b = 694,65, T \text{ étant en degrés Celsius.}$$

[0016] Dans un mode de réalisation, le rayon externe de veine  $Re$  et le rayon interne de veine  $Ri$  sont choisis de telle sorte que :

$$\frac{F}{SL} > a \times T + b \text{ où } a = -0,6976 \text{ et } b = 844,65, T \text{ étant en degrés Celsius.}$$

[0017] Dans un mode de réalisation,  $Cx_{tête}$  est une longueur de corde en tête d'aube, la

longueur de corde en tête d'aube étant définie comme une distance axiale entre un premier point et un deuxième point, le premier point étant un point de jonction entre la surface radialement interne de la plateforme du talon et le bord d'attaque de la pale à profil aérodynamique, et le deuxième point étant un point de jonction entre la surface radialement interne de la plateforme du talon et le bord de fuite de la pale à profil aérodynamique,

$Cx_{pied}$  est une longueur de corde en pied d'aube, la longueur de corde en pied d'aube étant définie comme une distance axiale entre un troisième point et un quatrième point, le troisième point étant un point de jonction entre la surface radialement externe de la plateforme du pied et le bord d'attaque de la pale à profil aérodynamique, et le quatrième point étant un point de jonction entre la surface radialement externe de la plateforme du pied et le bord de fuite de la pale à profil aérodynamique, et la pale à profil aérodynamique est dimensionnée de telle sorte que :

- si  $N2S < 15$  :  $0,2 < \frac{Cx_{tête}}{Cx_{pied}} < a \times N2S + b$ , où  $a = -0,0267$  et  $b = 1,15$ , et
- si  $N2S \geq 15$  :  $\frac{Cx_{tête}}{Cx_{pied}} \in [0,2; 0,75]$ .

[0018] Dans un mode de réalisation, la pale à profil aérodynamique est dimensionnée de telle sorte que :

- si  $N2S < 15$  :  $0,2 < \frac{Cx_{tête}}{Cx_{pied}} < a \times N2S + b$ , où  $a = -0,0267$  et  $b = 1$ , et
- si  $N2S \geq 15$  :  $\frac{Cx_{tête}}{Cx_{pied}} \in [0,2; 0,6]$ .

[0019] L'invention concerne également une roue mobile de turbine basse pression d'un système propulsif aéronautique, la roue mobile comprenant un disque de rotor centré sur un axe longitudinal et une pluralité d'aubes mobiles de turbine telles que définies précédemment, le pied de chacune des aubes mobiles de turbine étant monté dans une alvéole respective du disque de rotor qui débouche à la périphérie externe du disque de rotor, et la roue mobile étant configurée pour être entraînée en rotation par un arbre d'entraînement mobile en rotation autour de l'axe longitudinal du un système propulsif aéronautique, la roue mobile comprenant exactement un nombre  $Z$  d'aubes mobiles de turbine,  $Z$  étant compris dans une plage allant de 30 à 180.

[0020] L'invention concerne également un système propulsif aéronautique comprenant une turbine basse pression et un arbre d'entraînement entraîné en rotation par la turbine basse pression autour d'un axe longitudinal, la turbine basse pression comprenant la roue mobile telle que définie précédemment, l'arbre d'entraînement présentant une vitesse de rotation limite  $w$  destinée à être atteinte par l'arbre d'entraînement en fonctionnement lorsque le système propulsif aéronautique fonctionne à puissance maximale constante, la vitesse de rotation limite  $w$  étant comprise dans une gamme allant de

2 000 à 30 000 tours par minute.

[0021] L'invention concerne également un procédé de dimensionnement d'une aube mobile de turbine destinée à être montée autour d'un d'axe longitudinal dans une alvéole qui débouche à la périphérie externe d'un disque de rotor(32) d'une roue mobile d'une turbine basse pression d'un système propulsif aéronautique, le disque de rotor étant destiné à être centré sur l'axe longitudinal et à comprendre une pluralité d'aubes mobiles réparties circonférentiellement à la périphérie externe du disque de rotor, le système propulsif aéronautique étant destiné à comprendre un arbre d'entraînement et la roue mobile étant configurée pour entraîner l'arbre d'entraînement en rotation autour de l'axe longitudinal,

l'aube mobile de turbine s'étendant radialement vis-à-vis de l'axe longitudinal et comprenant un pied configuré pour être monté dans l'alvéole du disque de rotor, un talon, et une pale à profil aérodynamique s'étendant radialement depuis le pied jusqu'au talon, la pale à profil aérodynamique présentant un bord d'attaque et un bord de fuite,

dans lequel le talon comprend une plateforme qui présente une surface radialement interne destinée à délimiter une veine de circulation de gaz,

dans lequel le pied comprend une plateforme qui présente une surface radialement externe également destinée à délimiter la veine de circulation de gaz,

dans lequel

*Re* est un rayon externe de veine, le rayon externe de veine étant défini comme une moyenne d'une première distance radiale et d'une deuxième distance radiale, la première distance radiale étant une distance entre l'axe longitudinal et un point de jonction entre la surface radialement interne de la plateforme du talon et le bord d'attaque, et la deuxième distance radiale étant une distance entre l'axe longitudinal et un point de jonction entre la surface radialement interne de la plateforme du talon et le bord de fuite, en mètres,

*Ri* est un rayon interne de veine, le rayon interne de veine étant défini comme une moyenne d'une troisième distance radiale et d'une quatrième distance radiale, la troisième distance radiale étant une distance entre l'axe longitudinal et un point de jonction entre la surface radialement externe de la plateforme du pied et le bord d'attaque, et la quatrième distance radiale étant une distance entre l'axe longitudinal et un point de jonction entre la surface radialement externe de la plateforme du pied et le bord de fuite, en mètres,

le procédé comprenant une étape de dimensionnement de l'aube mobile de turbine au cours de laquelle le rayon externe de veine *Re* et le rayon interne de veine *Ri* sont choisis de telle sorte que :

$$\frac{R_i}{R_e} > a \times N2S + b \text{ avec :}$$

$$N2S = \pi(Re^2 - Ri^2) \times w^2 \text{ où :}$$

$w$  est une vitesse de rotation limite destinée à être atteinte par l'arbre d'entraînement en fonctionnement lorsque le système propulsif aéronautique fonctionne à puissance maximale continue, en nombre de tours par minute,

$$a = -0,0057, \text{ et}$$

$$b = 0,7561,$$

le rayon externe de veine  $Re$  étant compris dans une plage allant de 0,15 à 1,0 mètre et le rayon interne de veine  $Ri$  étant compris dans une plage allant de 0,1 à 0,8 mètre.

[0022] Dans un mode de réalisation, le rayon externe de veine  $Re$  et le rayon interne de veine  $Ri$  sont choisis de telle sorte que :

$$\frac{Ri}{Re} > a \times N2S + b \text{ où } a = -0,0057, \text{ et } b = 0,8561.$$

[0023] Dans un mode de réalisation, le talon est formé en un matériau, et présente une difficulté  $\sigma$  définie comme :

$$\sigma = \rho \times \frac{\pi^2}{4} \times \frac{Re^3}{Z^2} \times \left( \frac{\pi w}{30} \right)^2 \text{ où :}$$

$\rho$  est une masse volumique du matériau en kilogrammes par mètres cubes,

$Z$  est le nombre de la pluralité d'aubes mobiles destinées à être montées à la périphérie externe du disque de rotor,

l'aube mobile de turbine étant destinée à être soumise à une température  $T$  lorsque l'arbre d'entraînement tourne à la vitesse de rotation limite  $w$ , et

le procédé comprenant une étape de dimensionnement de l'aube mobile de turbine au cours de laquelle  $\rho$  et  $Re$  sont choisis de telle sorte que :

- si la température  $T$  est inférieure à 759°C :  $\sigma > 37.10^4$ ,
- si la température  $T$  est dans la plage allant de 759°C à 1083°C :  $\sigma > a \times T + b$ , où  $a = -524,69$ ,  $b = 6,4823971.10^5$ ,  $T$  étant en degrés Celsius,
- si la température  $T$  est dans la plage allant de 1083°C à 1117°C :  $\sigma > c \times T + d$ , où  $c = -3846,2$ ,  $d = 4,24543504.10^6$ , et  $T$  étant en degrés Celsius, et
- si la température  $T$  est supérieure à 1117°C :  $\sigma > 0$ ,

la masse volumique du matériau  $\rho$  étant comprise dans une plage allant de 2 à 10 kilogrammes par mètres cubes.

[0024] Dans un mode de réalisation,  $\rho$  et  $Re$  sont choisis de telle sorte que :

- si la température  $T$  est inférieure à 759°C :  $\sigma > 37.10^4$ ,
- pour une température  $T$  allant de 759°C à 1083°C :  $\sigma > a \times T + b$ , où  $a = -524,69$ ,  $b = 7,68241.10^5$ ,  $T$  étant en degrés Celsius,
- pour une température  $T$  allant de 1083°C à 1135°C :  $\sigma > c \times T + d$ , où  $c = -3846,2$ ,  $d = 4,365370.10^6$ ,  $T$  étant en degrés Celsius, et
- pour une température  $T$  supérieure à 1135°C :  $\sigma > 0$ .

[0025] Dans un mode de réalisation, le procédé comprend une étape de dimensionnement de l'aube mobile de turbine au cours de laquelle le rayon externe  $Re$  et le rayon interne  $Ri$  sont choisis de telle sorte que :

- si la température  $T$  est inférieure ou égale à  $700^{\circ}\text{C}$  :  $N2S > 33,7.10^6 \text{ rpm}^2.\text{m}^2$ ,
- si la température  $T$  est supérieure à  $700^{\circ}\text{C}$  :  $N2S > a \times T + b$ , où  $a = -0,055$  et  $b = 72,2$ ,  $T$  étant en degrés Celsius.

[0026] Dans un mode de réalisation, le rayon externe  $Re$  et le rayon interne  $Ri$  sont choisis de telle sorte que :

- si la température  $T$  est inférieure ou égale à  $700^{\circ}\text{C}$  :  $N2S > 44.10^6 \text{ rpm}^2.\text{m}^2$ ,
- si la température  $T$  est supérieure à  $700^{\circ}\text{C}$  :  $N2S > a \times T + b$ , où  $a = -0,055$  et  $b = 82,5$ ,  $T$  étant en degrés Celsius.

[0027] Dans un mode de réalisation, le disque mobile de turbine est destiné à présenter une surface amont, une surface avale, et chaque alvéole du disque étant destinée à être délimitée par une surface de fond d'alvéole, et

un paramètre  $\frac{F}{SL}$  est défini comme :

$$\frac{F}{SL} = N2S \times Rm \times H \times \frac{w}{Rj \times Lj} \text{ avec :}$$

$$Rm = \frac{Re+Ri}{2} \text{ où :}$$

$H$  est une hauteur de veine, la hauteur de veine étant définie comme une différence entre le rayon externe de veine  $Re$  et le rayon interne de veine  $Ri$ , en mètres,

$Rj$  est un rayon de jante, le rayon de jante étant défini comme la plus petite distance radiale entre l'axe longitudinal et la surface de fond d'alvéole, en mètres,

$Lj$  est une épaisseur de jante, l'épaisseur de jante étant définie comme une distance axiale entre un point de jonction de la surface amont du disque mobile de turbine et de la surface de fond d'alvéole, et un point de jonction de la surface avale du disque mobile de turbine et de la surface de fond d'alvéole, en mètres,

le procédé comprenant une étape de dimensionnement de l'aube mobile de turbine au cours de laquelle  $Re$  et  $Ri$  sont choisis de telle sorte que :

$$\frac{F}{SL} > a \times T + b \text{ où } a = -0,6976 \text{ et } b = 694,65, T \text{ étant en degrés Celsius.}$$

[0028] Dans un mode de réalisation, le rayon externe de veine  $Re$  et le rayon interne de veine  $Ri$  sont choisis de telle sorte que :

$$\frac{F}{SL} > a \times T + b \text{ où } a = -0,6976 \text{ et } b = 844,65, T \text{ étant en degrés Celsius.}$$

[0029] Dans un mode de réalisation, le rayon externe de veine  $Re$  et le rayon interne de veine  $Ri$ ,  $Cx_{tête}$  est une longueur de corde en tête d'aube, la longueur de corde en tête d'aube étant définie comme une distance axiale entre un premier point et un deuxième point, le premier point étant un point de jonction entre la surface radialement interne de la plateforme du talon et le bord d'attaque de la pale à profil aérodynamique, et le

deuxième point étant un point de jonction entre la surface radialement interne de la plateforme du talon et le bord de fuite de la pale à profil aérodynamique,

$Cx_{pied}$  est une longueur de corde en pied d'aube, la longueur de corde en pied d'aube étant définie comme une distance axiale entre un troisième point et un quatrième point, le troisième point étant un point de jonction entre la surface radialement externe de la plateforme du pied et le bord d'attaque de la pale à profil aérodynamique, et le quatrième point étant un point de jonction entre la surface radialement externe de la plateforme du pied et le bord de fuite de la pale à profil aérodynamique,

le procédé comprenant une étape de dimensionnement de l'aube mobile de turbine au cours de laquelle la pale à profil aérodynamique est dimensionnée de telle sorte que :

- si  $N2S < 15$  :  $0,2 < \frac{Cx_{fuite}}{Cx_{pied}} < a \times N2S + b$ , où  $a = -0,0267$  et  $b = 1,15$ , et

- si  $N2S \geq 15$  :  $\frac{Cx_{fuite}}{Cx_{pied}} \in [0,2; 0,75]$ .

[0030] Dans un mode de réalisation, la pale à profil aérodynamique est dimensionnée de telle sorte que :

- si  $N2S < 15$  :  $0,2 < \frac{Cx_{fuite}}{Cx_{pied}} < a \times N2S + b$ , où  $a = -0,0267$  et  $b = 1$ , et

- si  $N2S \geq 15$  :  $\frac{Cx_{fuite}}{Cx_{pied}} \in [0,2; 0,6]$ .

[0031] L'invention concerne également une aube mobile de turbine fabriquée à partir d'un procédé de dimensionnement tel que défini précédemment.

## **PRESENTATION DES DESSINS**

[0032] D'autres caractéristiques et avantages ressortiront encore de la description qui suit, laquelle est purement illustrative et non limitative, et doit être lue en regard des figures annexées, parmi lesquelles :

[0033] - la [Fig.1] représente de manière schématique un aéronef comprenant des systèmes propulsifs,

[0034] - la [Fig.2] représente de manière schématique, en vue partielle et en coupe, un exemple de système propulsif dans lequel la section de soufflante est carénée,

[0035] - la [Fig.3] représente de manière schématique, en vue partielle et en coupe, un exemple de système propulsif dans lequel la section de soufflante est non-carénée,

[0036] - la [Fig.4] représente de manière schématique un premier exemple de mécanisme de réduction planétaire,

[0037] - la [Fig.5] représente de manière schématique un premier exemple de mécanisme de réduction épicycloïdal,

[0038] - la [Fig.6] représente de manière schématique une roue mobile d'une turbine basse pression,

[0039] - la [Fig.7] représente de manière schématique un disque de la roue mobile,

- [0040] - les figures 8A et 8B représentent de manière schématique une aube de la roue mobile,
- [0041] - la [Fig.9] représente de manière schématique les dimensions de l'aube mobile
- [0042] - la [Fig.10] représente de manière schématique une limite de difficulté du talon d'une aube mobile de turbine,
- [0043] - la figure 11 représente de manière schématique une limite du paramètre  $N2S$  d'une aube mobile de turbine,
- [0044] - la [Fig.12] représente de manière schématique une limite de difficulté de l'attache entre une aube mobile de turbine et un disque mobile de turbine,
- [0045] - la [Fig.13] représente de manière schématique une limite du rapport de rayon interne de veine et de rayon externe de veine pour une aube mobile de turbine,
- [0046] - la [Fig.14] représente de manière schématique une limite du rapport entre une corde en tête d'aube et une corde en pied d'aube d'une aube mobile de turbine.

### **DESCRIPTION DETAILLEE D'UN MODE DE REALISATION**

- [0047] Dans l'exemple illustré sur la [Fig.1], l'aéronef est un avion 100 comprenant un fuselage 101 et deux ailes 102. Dans cet exemple, l'aéronef comprend deux systèmes propulsifs 1, chaque système propulsif 1 étant fixé à une aile 102 respective de l'avion 100 par l'intermédiaire d'un pylône. Dans un autre mode de réalisation, l'aéronef pourrait comprendre un ou plusieurs système propulsif(s) fixé(s) au fuselage 101.
- [0048] La [Fig.2] représente de manière schématique, en vue partielle et en coupe, un premier exemple d'un système propulsif 1.
- [0049] Dans cet exemple, le système propulsif 1 est un moteur à turbine à gaz à double corps et à soufflante carénée.
- [0050] Sur la [Fig.2], le système propulsif 1 présente une direction principale s'étendant selon un axe longitudinal X. Le système propulsif 1 comprend une section de soufflante 2 et un corps primaire 3, souvent appelé « générateur de gaz ».
- [0051] La section de soufflante 2 comprend une soufflante 22 et un carter de soufflante 12. La soufflante 22 comprend un rotor de soufflante 9. Le carter de soufflante 12 entoure le rotor de soufflante 9. Le rotor de soufflante 9 est monté rotatif par rapport au carter de soufflante 12.
- [0052] Le rotor de soufflante 9 comprend un moyeu de soufflante 13 et des aubes de soufflante 14 s'étendant radialement à partir du moyeu 13. Les aubes de soufflante 14 peuvent être fixes par rapport au moyeu de soufflante 13 ou présenter un calage variable. Dans ce dernier cas, chacune des aubes de soufflante 14 est montée pivotante par rapport au moyeu de soufflante 13 suivant un axe de calage et est reliée à un mécanisme de changement de pas 15 monté dans le système propulsif 1. Le mécanisme de changement de pas 15 permet d'ajuster l'angle de calage des aubes de soufflante 14 en fonction des phases de vol.

- [0053] Le rotor de soufflante 9 comprend au moins quatorze aubes de soufflante 14 et au plus vingt-quatre aubes de soufflante 14, de préférence au moins seize aubes de soufflante 14 et au plus vingt-deux aubes de soufflante 14.
- [0054] De plus, dans cet exemple, la section de soufflante 2 comprend également un stator de soufflante 16 monté fixe sur le carter de soufflante 12. Le stator de soufflante 16 comprend des aubes fixes 17 généralement dénommées « aubes de sortie » (ou « OGV », pour « Outlet Guide Vane » en anglais). Cet ensemble d'aubes fixes a pour fonction de redresser et de réguler le flux d'air qui s'écoule en aval du rotor de soufflante 9 pour contribuer à la poussée du moteur. Cet ensemble d'aubes fixes joue aussi un rôle de réducteur de bruit.
- [0055] Alternativement, les aubes de sortie 17 pourraient présenter un calage variable. Le cas échéant, et de manière similaire aux aubes de soufflante 14 du rotor de soufflante 9, le pied des aubes de sortie 17 est monté pivotant suivant un axe de calage et est relié à un mécanisme de changement de pas (non-représenté), le calage étant ajusté en fonction des phases de vol par le mécanisme de changement de pas.
- [0056] Le nombre d'aubes de sortie 17 dépend des critères acoustiques définis pour le système propulsif 1 et est au moins égal au nombre d'aubes de soufflante 14.
- [0057] Le corps primaire 3 comprend une section de compresseur 29, une chambre de combustion 6 et une section de turbine 30.
- [0058] La section de compresseur 29 comprend un compresseur basse pression 4 et un compresseur haute pression 5.
- [0059] Le compresseur basse pression 4 comprend un rotor 41 propre à être entraîné en rotation par rapport au carter 31 du système propulsif 1 et un stator 42 monté fixe sur le carter 31.
- [0060] Le rotor 41 du compresseur basse pression 4 comprend des roues mobiles 4a et le stator 42 du compresseur basse pression 4 comprend des roues fixes 4b. Les roues mobiles 4a sont disposées en alternance avec les roues fixes 4b, formant ainsi une succession d'étages de compresseur basse pression.
- [0061] De même, le compresseur haute pression 5 comprend un rotor 51 propre à être entraîné en rotation par rapport au carter 31 du système propulsif 1 et un stator 52 monté fixe sur le carter 31.
- [0062] Le rotor 51 du compresseur haute pression 5 comprend des roues mobiles 5a et le stator 52 du compresseur haute pression 5 comprend des roues fixes 5b. Les roues mobiles 5a sont disposées en alternance avec les roues fixes 5b, formant ainsi une succession d'étages de compresseur haute pression.
- [0063] La section de turbine 30 comprend une turbine haute pression 7 et une turbine basse pression 8.
- [0064] La turbine haute pression 7 comprend un rotor 71 propre à être entraîné en rotation

par rapport au carter 31 du système propulsif 1 et un stator 72 monté fixe sur le carter 31.

[0065] Le rotor 71 de la turbine haute pression 7 comprend des roues mobiles 7a et le stator 72 de la turbine haute pression 7 comprend des roues fixes 7b. Les roues mobiles 7a sont disposées en alternance avec les roues fixes 7b, formant ainsi une succession d'étages de turbine haute pression.

[0066] De même, la turbine basse pression 8 comprend un rotor 81 propre à être entraîné en rotation par rapport au carter 31 du système propulsif 1 et un stator 82 monté fixe sur le carter 31.

[0067] Le rotor 81 de la turbine basse pression 8 comprend des roues mobiles 8a et le stator 82 de la turbine basse pression 8 comprend des roues fixes 8b. Les roues mobiles 8a sont disposées en alternance avec les roues fixes 8b, formant ainsi une succession d'étages de turbine basse pression.

[0068] Le système propulsif 1 comprend un arbre basse pression 11 reliant le rotor 41 de la turbine basse pression 4 au rotor 81 du compresseur basse pression 8, l'arbre basse pression 11 étant monté rotatif par rapport au carter 31 autour de l'axe longitudinal X.

[0069] Lorsque le système propulsif 1 est en fonctionnement, le rotor 81 de la turbine basse pression 8 entraîne en rotation le rotor 41 du compresseur basse pression 4 par le biais de l'arbre basse pression 11.

[0070] Le système propulsif 1 comprend en outre un arbre de soufflante 20 et un mécanisme de réduction 19. Le rotor de soufflante 9 est monté fixe sur l'arbre de soufflante 20. Le mécanisme de réduction 19 présente une entrée et une sortie. L'entrée du mécanisme de réduction 19 est raccordée à l'arbre basse pression 11 et la sortie du mécanisme de réduction 19 est raccordée à l'arbre de soufflante 20. Ainsi, lorsque le système propulsif 1 est en fonctionnement, le rotor 81 de la turbine basse pression 8 entraîne en rotation non seulement le rotor 41 du compresseur basse pression 4, mais également le rotor de soufflante 9, par le biais de l'arbre basse pression 11, du mécanisme de réduction 19 et de l'arbre de soufflante 20.

[0071] Grâce au mécanisme de réduction 19, le rotor de soufflante 9 est entraîné en rotation à une vitesse inférieure à la vitesse de rotation du rotor 41 de la turbine basse pression 4.

[0072] Le mécanisme de réduction 19 permet ainsi de maîtriser de manière indépendante la vitesse de rotation de la soufflante 22 et la vitesse de rotation de la turbine basse pression 8 et du compresseur basse pression 4.

[0073] La turbine basse pression 8, l'arbre basse pression 11, le compresseur basse pression 4, l'arbre de soufflante 20, le mécanisme de réduction 19 et la soufflante 22 forment ensemble le « corps basse pression » du système propulsif 1.

[0074] Le système propulsif 1 comprend en outre un arbre haute pression 10 reliant le rotor

51 de la turbine haute pression 5 au rotor 71 du compresseur haute pression 7, l'arbre haute pression 10 étant monté rotatif par rapport au carter 31 autour de l'axe longitudinal X. L'arbre haute pression 10 est coaxial avec l'arbre basse pression 11 et s'étend autour de l'arbre basse pression 11.

- [0075] Lorsque le système propulsif 1 est en fonctionnement, le rotor 71 de la turbine haute pression 7 entraîne en rotation le rotor 51 du compresseur basse pression 5 par le biais de l'arbre basse pression 11.
- [0076] La turbine haute pression 7, l'arbre haute pression 10 et le compresseur haute pression 4 forment ensemble le « corps haute pression » du système propulsif 1.
- [0077] L'arbre basse pression 11 et l'arbre haute pression 10 peuvent être corotatifs, c'est-à-dire être entraînés dans le même sens de rotation autour de l'axe longitudinal X. En variante, l'arbre basse pression 11 et l'arbre haute-pression 10 peuvent être contra-rotatifs, c'est-à-dire être entraînés dans des sens de rotation opposés autour de l'axe longitudinal X.
- [0078] Le système propulsif 1 à double corps peut notamment comprendre une turbine haute pression 7 monoétagé, c'est-à-dire comprenant exactement un étage, ou une turbine haute pression 7 biétagé, c'est-à-dire comprenant exactement deux étages (comme illustré dans l'exemple de la [Fig.2]).
- [0079] Le compresseur haute pression 5 comprend au moins huit étages (comme illustré dans l'exemple de la [Fig.2]) et au plus onze étages.
- [0080] La turbine basse pression 8 comprend au moins trois étages (comme illustré dans l'exemple de la [Fig.2]) et au plus sept étages.
- [0081] Le compresseur basse pression 4 comprend au moins deux étages et au plus quatre étages.
- [0082] Lorsque le système propulsif est en fonctionnement, un flux d'air F entrant dans le système propulsif 1 traverse la soufflante 22 puis est divisé entre un flux d'air primaire F1 et un flux d'air secondaire F2, qui circulent d'amont en aval dans le système propulsif 1.
- [0083] Le flux d'air secondaire F2, appelé également « flux d'air de dérivation », s'écoule dans la veine secondaire, autour du corps primaire 3. Le flux d'air secondaire F2 permet de refroidir la périphérie du corps primaire 3 et sert à générer la majeure partie de la poussée fournie par le système propulsif 1.
- [0084] Le flux d'air primaire F1 s'écoule dans une veine primaire 29 à l'intérieur du corps primaire 3, en passant successivement à travers la section de compresseur 29 (compresseur basse pression 4 et compresseur haute pression 5), la chambre de combustion 6 où il est mélangé avec du carburant pour servir de comburant, et la section de turbine 30 (turbine haute pression 7 et turbine basse pression 8). Le passage du flux d'air primaire F1 à travers la section de turbine 30 recevant de l'énergie de la

chambre de combustion 6 provoque une rotation des roues mobiles 7a, 8a de la section de turbine 30, qui entraînent à leur tour en rotation les roues mobiles 4a, 5a de la section de compresseur 29 ainsi que le rotor de soufflante 9.

- [0085] Afin d'améliorer le rendement propulsif du système propulsif 1 et de réduire sa consommation spécifique ainsi que le bruit émis par la section de soufflante 2, le système propulsif 1 présente un taux de dilution (ou « bypass ratio » en anglais) élevé. Par taux de dilution « élevé », il est signifié un taux de dilution supérieur ou égal à 10, par exemple compris entre 10 et 80 inclus, de préférence compris entre 10 et 35 inclus, de préférence entre 10 et 18 inclus. Le taux de dilution est défini comme un rapport entre le débit massique du flux d'air secondaire F2 et le débit massique du flux d'air primaire F1, ces débits massiques en étant mesurés lorsque le système propulsif 1 est stationnaire, non-installé, en régime de décollage dans une atmosphère standard (telle que définie par le manuel de l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI), Doc 7488/3, 3e édition) et au niveau de la mer. Par « non installé », il est signifié que les mesures sont effectuées lorsque le système propulsif 1 est sur un banc d'essai (et non installé sur un aéronef), les mesures étant alors plus simples à réaliser.
- [0086] Dans un système propulsif incluant un mécanisme de réduction 19 tel que celui qui est illustré sur la [Fig.2], le découplage entre la vitesse de rotation de la soufflante 22 et la vitesse de rotation de la turbine basse pression 8 permet de réduire la vitesse de rotation et le rapport de pression du rotor de soufflante 9 tout en augmentant la puissance extraite par la turbine basse pression 8. En effet, l'efficacité globale du système propulsif 1 est conditionnée au premier ordre par le rendement propulsif, qui est favorablement influencé par une minimisation de la variation d'énergie cinétique de l'air à la traversée du système propulsif 1. Dans un système propulsif à taux de dilution élevé, l'essentiel du débit générant l'effort propulsif est constitué par le flux d'air secondaire F2 du système propulsif 1, l'énergie cinétique du flux d'air secondaire F2 étant majoritairement affectée par la compression que subit le flux d'air secondaire F2 lors de la traversée de la section de soufflante 2. Le rendement propulsif et le rapport de pression de la section de soufflante 2 sont donc liés : plus le rapport de pression de la section de soufflante 2 est faible, meilleur sera le rendement propulsif. Afin d'améliorer le rendement propulsif du système propulsif 1, le rapport de pression de la soufflante, qui correspond au rapport entre la pression moyenne en sortie du stator de soufflante 16 (ou, en l'absence de stator 16, du rotor de soufflante 9) et la pression moyenne en entrée du rotor de soufflante 9, est inférieur ou égal à 1,70, de préférence inférieur ou égal à 1,50, par exemple compris entre 0,90 et 1,45. Les pressions moyennes sont mesurées ici sur la hauteur d'au moins une des aubes de soufflante 14, c'est-à-dire de la surface qui délimite radialement à l'intérieur la veine d'écoulement d'air en entrée du rotor de soufflante 9 au sommet 21 d'aube de soufflante 14.

- [0087] La vitesse périphérique au sommet 21 des aubes de soufflante 14 peut par ailleurs être comprise entre 260 mètres par seconde ( $\text{m.s}^{-1}$ ) et 400 mètres par seconde ( $\text{m.s}^{-1}$ ) inclus. Le rapport de pression de soufflante peut alors être compris entre 1,20 et 1,45.
- [0088] Dans un système propulsif à entraînement direct (ou « direct-drive » en anglais), le rotor de soufflante 9 peut, alternativement, être directement couplé à l'arbre basse pression 11, c'est-à-dire sans mécanisme de réduction. L'arbre basse pression 11 est alors confondu avec l'arbre de soufflante 20 de sorte à ce que le rotor de soufflante 9 est entraîné par l'arbre basse pression 11 à la même vitesse de rotation que le rotor 81 de la turbine basse pression 8.
- [0089] Le système propulsif 1 est configuré pour fournir une poussée comprise entre 18 000 lbf (80 068 N) et 51 000 lbf (226 859 N), de préférence entre 20 000 lbf (88 964 N) et 35 000 lbf (155 688 N).
- [0090] Le diamètre D du rotor de soufflante 9 peut être compris entre 80 pouces (203,2 cm) et 185 pouces (469,9 cm) inclus. Lorsque le rotor de soufflante 9 est caréné, le diamètre D est de préférence compris entre 85 pouces (215,9 cm) et 120 pouces (304,8 cm) inclus, par exemple de l'ordre de 90 pouces (228,6 cm), ce qui permet l'intégration du système propulsif 1 de manière conventionnelle, en particulier sous une aile de l'aéronef 1.
- [0091] La [Fig.3] représente de manière schématique, en vue partielle et en coupe, un deuxième exemple de système propulsif 1.
- [0092] Sur la [Fig.3], les composants identiques ou similaires à ceux du système propulsif de la [Fig.2] sont désignés par des références identiques.
- [0093] Dans l'exemple illustré sur la [Fig.3], le système propulsif 1 est un moteur à turbine à gaz à double corps et à soufflante non-carénée. Il peut s'agir d'un moteur à turbine à gaz de type « Open Rotor » ou « Unducted Single Fan ».
- [0094] Contrairement au premier exemple de la [Fig.2], le rotor de soufflante 9, qui peut également être désignée par le terme « hélice », n'est pas entouré par un carter de soufflante.
- [0095] La section de soufflante 2 étant non carénée, les aubes de soufflante 14 présentent un calage variable.
- [0096] Alternativement, le système propulsif 1 pourrait comprendre deux rotors de soufflante 9 non carénés et contrarotatifs. Un tel système propulsif 1 est connu, dans la terminologie anglo-saxonne, sous l'acronyme « CROR » pour « Contra-Rotating Open Rotor » ou « UDF » pour « Unducted Double Fan ». Les rotors de soufflante 9 peuvent être placés à l'arrière du corps primaire 3 de sorte à être du type pousseeur (« pusher » en anglais) ou à l'avant du corps primaire 3 de sorte à être du type tracteur (« puller » en anglais).
- [0097] L'absence de carénage autour du rotor de soufflante 9 permet d'augmenter le taux de

dilution de façon importante sans que le système propulsif 1 ne soit pénalisé par la masse des carters 12 ou nacelles destinés à entourer la section de soufflante 2. Le taux de dilution du système propulsif 1 comprenant une section de soufflante 2 non carénée est ainsi supérieur ou égal à 40, par exemple compris entre 40 et 80 inclus. La vitesse périphérique au sommet 21 des aubes de soufflante 14 du (ou des) rotor(s) de soufflante 9 peut par ailleurs être comprise entre 210 mètres par seconde ( $\text{m.s}^{-1}$ ) et 260 mètres par seconde ( $\text{m.s}^{-1}$ ) inclus. Le rapport de pression de soufflante peut alors être compris de préférence entre 0,90 et 1,20 inclus.

- [0098] Le diamètre D du rotor de soufflante 9 peut être compris entre 80 pouces (203,2 cm) et 185 pouces (469,9 cm) inclus. Lorsque le rotor 9 est non caréné, le diamètre D est de préférence supérieur ou égal à 100 pouces (254 cm), par exemple entre 120 pouces (304,8 cm) et 156 pouces (396,2 cm). Le diamètre du rotor de soufflante 9 est mesuré ici dans un plan normal à l'axe longitudinal X, qui est l'axe de rotation du rotor de soufflante 9, au niveau d'une intersection entre un sommet 21 et un bord d'attaque 22 des aubes de soufflante 14.
- [0099] Il convient de noter que, la [Fig.2] et la [Fig.3] étant des vues partielles, le diamètre D n'est que partiellement visible.
- [0100] Le mécanisme de réduction 19 peut comprendre un mécanisme de réduction épicycloïdal ou planétaire, monoétage ou biétage.
- [0101] Par exemple, la [Fig.4] illustre un mécanisme de réduction 19 du type planétaire (ou « star » en anglais). Le mécanisme de réduction 19 comprend un pignon solaire 19a (entrée du mécanisme de réduction 19), centré sur un axe de rotation du mécanisme de réduction 19 généralement confondu avec l'axe longitudinal X et configuré pour être entraîné en rotation par l'arbre basse pression 11, une couronne 19b (sortie du mécanisme de réduction 19) coaxiale avec le pignon solaire 19a et configurée pour entraîner en rotation l'arbre de soufflante 20 autour de son axe X de rotation, et une série de satellites 19c répartis de manière circonférentielle autour de l'axe X de rotation du rotor 9 de la section de soufflante 2, entre le pignon solaire 19a et la couronne 19b, chaque satellite 19c étant engrené intérieurement avec le pignon solaire 19a et extérieurement avec la couronne 19b. La série de satellites 19c est montée sur un porte-satellites 19d qui est fixe par rapport à une partie stator 19e du système propulsif 1, par exemple par rapport à un carter de la section de compresseur 4, 5.
- [0102] Dans un autre exemple, la [Fig.5] illustre un mécanisme de réduction 19 de type épicycloïdal (ou « planetary » en anglais), auquel cas la couronne 19b est montée fixement sur la partie stator 19e du système propulsif 1 et l'arbre de soufflante 20 est entraîné en rotation par le porte-satellites 19d.
- [0103] Quelle que soit la configuration du mécanisme de réduction 19, le diamètre de la couronne 19b et du porte satellites 19d sont supérieurs au diamètre du pignon solaire

19a, de sorte que la vitesse de rotation du rotor 9 de la section de soufflante 2 est inférieure à la vitesse de rotation de l'arbre basse pression 11.

- [0104] Le rapport de réduction du mécanisme de réduction 19 est supérieur ou égal à 2,5 et inférieur ou égal à 11. Dans le cas d'un système propulsif 1 à soufflante carénée, le rapport de réduction peut être supérieur ou égal à 2,7 et inférieur ou égal à 3,5, typiquement autour de 3,0. Dans le cas d'un système propulsif 1 à soufflante non caréné, le rapport de réduction peut être compris entre 9,0 et 11,0.
- [0105] La [Fig.6] représente de manière schématique une roue mobile 8a faisant partie d'un rotor 81 d'une turbine basse pression 8 d'un système propulsif 1.
- [0106] La roue mobile 8a comprend un disque mobile de turbine 32 centré sur l'axe longitudinal X, et une pluralité d'aubes mobiles de turbine 33 fixées au disque mobile de turbine 32 et s'étendant radialement à partir du disque mobile de turbine 32.
- [0107] La roue mobile 8a comprend un nombre  $Z$  d'aubes mobiles de turbine 32. Le nombre  $Z$  d'aubes mobiles de turbine 32 peut être compris entre 30 et 180 inclus, de préférence compris entre 70 et 100 inclus.
- [0108] La [Fig.7] représente de manière schématique un disque mobile de turbine 32. Le disque mobile de turbine 32 comprend un moyeu 321, une jante 322, et un voile 323 reliant le moyeu 321 à la jante 322. Le moyeu 321 présente une surface radialement interne 324 qui délimite un alésage central 325 de forme cylindrique de révolution, ayant l'axe longitudinal X pour axe de révolution. Le moyeu 321 présente une épaisseur (mesurée parallèlement à l'axe longitudinal X) supérieure à l'épaisseur du voile 323, afin de permettre à la roue mobile 8a de résister aux efforts centrifuges qui sont transmis par les aubes mobiles de turbine 33.
- [0109] Par ailleurs, le disque mobile de turbine 32 comprend une surface radialement externe 326, et une pluralité d'alvéoles 327 s'étendant à partir de la surface radialement externe 326, chaque alvéole 327 étant délimitée par une surface de fond d'alvéole 328. Les alvéoles 327 sont réparties autour de l'axe longitudinal X, avec un écart angulaire constant entre deux alvéoles consécutives. Chaque alvéole 327 est prévue pour loger un pied d'aube mobile de turbine 33 afin d'attacher l'aube mobile de turbine 33 au disque mobile de turbine 32.
- [0110] A cet égard, chaque alvéole 327 présente une forme adaptée pour permettre une insertion axiale d'un pied d'aube tout en assurant un blocage radial du pied d'aube dans l'alvéole 327. Chaque alvéole 327 peut présenter une forme en queue d'aronde ou en pied de sapin (comme cela est par exemple visible sur la [Fig.7]), avec au moins un, voire plusieurs, lobe(s).
- [0111] Le disque mobile 32 présente un rayon de jante  $Rj$  et une épaisseur de jante  $Lj$ .
- [0112] Le rayon de jante  $Rj$  est défini comme la plus petite distance radiale entre l'axe longitudinal X et la surface de fond d'alvéole 328. Le rayon de jante  $Rj$  peut être compris

entre 0,05 mètre et 0,5 mètre inclus, de préférence entre 0,2 et 0,3 mètre inclus.

- [0113] L'épaisseur de jante  $L_j$  est définie comme une distance axiale entre, d'une part, un point de jonction (point A sur la figure 7) d'une surface amont 329 du disque mobile de turbine 32 et de la surface de fond d'alvéole 328 et, d'autre part, un point de jonction (point B sur la figure 7) de la surface avale 330 du disque mobile de turbine 32 et de la surface de fond d'alvéole. L'épaisseur de jante  $L_j$  peut être comprise entre 0,01 mètre et 0,06 mètre inclus.
- [0114] Les figures 8A et 8B représentent de manière schématique une aube mobile de turbine 33. L'aube mobile de turbine 33 comprend un pied 332, une pale à profil aérodynamique 333 et un talon 334.
- [0115] Le pied 332 comprend une portion d'attache 331 propre à être insérée dans une alvéole 327 du disque mobile de turbine 32, afin de fixer l'aube mobile de turbine 33 sur le disque mobile de turbine 32. A cet effet, la portion d'attache 331 présente une forme complémentaire d'une alvéole 327 du disque mobile de turbine 32.
- [0116] Le pied 332 comprend en outre une échasse raccordant la portion d'attache 331 à la pale à profil aérodynamique 333. L'échasse comprend une plateforme 335 présentant une surface radialement externe 336.
- [0117] La pale à profil aérodynamique 333 s'étend depuis le pied 332 jusqu'au talon 334. La pale à profil aérodynamique 333 présente un bord d'attaque 341, un bord de fuite 342, une surface d'intrados 343 et une surface d'extrados 344.
- [0118] Le talon 334 présente une surface radialement interne 338 et une surface radialement externe 339.
- [0119] Lorsque plusieurs aubes mobiles de turbine 33 sont fixées au disque mobile de turbine 32, les surfaces radialement externes 336 des plateformes 335 et les surfaces radialement internes 338 des talons 334 délimitent radialement une veine de circulation de gaz à travers la turbine, tandis que le flux de gaz s'écoule entre les pales à profil aérodynamiques 333.
- [0120] Comme illustré sur la figure 9, la veine de circulation de gaz présente ainsi un rayon interne de veine  $R_i$  et un rayon externe de veine  $R_e$ .
- [0121] Le rayon interne de veine  $R_i$  est défini comme une moyenne entre, d'une part, une distance entre l'axe longitudinal X et un point de jonction (point C sur la figure 9) entre la surface radialement externe 336 de la plateforme 335 et le bord d'attaque 341 de la pale à profil aérodynamique 333 et, d'autre part, une distance entre l'axe longitudinal X et un point de jonction (point D sur la figure 9) entre la surface radialement externe 336 de la plateforme 335 et le bord de fuite 342 de la pale à profil aérodynamique 333. Le rayon interne de veine  $R_i$  peut être compris entre 0,1 et 0,8 mètre inclus, selon l'étage de la turbine auquel appartient la roue mobile 8a, de préférence compris entre 0,25 et 0,35 mètre inclus.

- [0122] Le rayon externe de veine  $Re$  est défini comme une moyenne entre, d'une part, une distance entre l'axe longitudinal X et un point de jonction (point E sur la figure 9) entre la surface radialement interne 338 du talon 334 et le bord d'attaque 341 et, d'autre part, une distance entre l'axe longitudinal X et un point de jonction (point F sur la figure 9) entre la surface radialement interne 338 du talon 334 et le bord de fuite 342. Le rayon externe de veine  $Re$  peut être compris entre 0,15 et 1,0 mètre inclus, selon l'étage de la turbine auquel appartient la roue mobile 8a, de préférence compris entre 0,35 et 0,55 mètres inclus.
- [0123] Un rayon moyen de veine  $Rm$  est défini comme une moyenne du rayon externe de veine  $Re$  et du rayon interne de veine  $Ri$ . Le rayon moyen de veine  $Rm$  est compris entre 0,125 mètre et 0,9 mètre inclus, de préférence entre 0,3 et 0,45 mètre inclus.
- [0124] Une hauteur de veine  $H$  est définie comme une différence entre le rayon externe de veine  $Re$  et le rayon interne de veine  $Ri$ . La hauteur de veine  $H$  peut être comprise entre 0,01 mètre et 0,9 mètre inclus, de préférence entre 0,05 et 0,25 mètre inclus.
- [0125] L'aube mobile de turbine présente une longueur de corde en tête d'aube  $Cx_{tête}$  et une longueur de corde en pied d'aube  $Cx_{pied}$ .
- [0126] La longueur de corde en pied d'aube  $Cx_{pied}$  est définie comme une distance axiale entre, d'une part, le point de jonction (point C sur la figure 9) entre la surface radialement externe 336 de la plateforme 335 et le bord d'attaque 341 de la pale à profil aérodynamique 333 et, d'autre part, le point de jonction (point D sur la figure 9) entre la surface radialement externe 336 de la plateforme 335 et le bord de fuite 342 de la pale à profil aérodynamique 333. La longueur de corde en pied d'aube  $Cx_{pied}$  est comprise entre 0,01 mètre et 0,05 mètre inclus, de préférence entre 0,02 et 0,04 mètre inclus.
- [0127] La longueur de corde en tête d'aube  $Cx_{tête}$  est définie comme une distance axiale entre, d'une part, le point de jonction (point E sur la figure 9) entre la surface radialement interne 338 du talon 334 et le bord d'attaque 341 de la pale à profil aérodynamique 333 et, d'autre part, le point de jonction (point F sur la figure 9) entre la surface radialement interne 338 du talon 334 et le bord de fuite 342 de la pale à profil aérodynamique 333. La longueur de corde en tête d'aube  $Cx_{tête}$  est comprise entre 0,005 mètre et 0,05 mètre inclus, de préférence entre 0,015 et 0,03 mètre inclus.
- [0128] Par « distance axiale », on entend une distance mesurée parallèlement à l'axe longitudinal X. Autrement dit, la distance axiale entre le point C et le point D est la distance entre un premier plan orthogonal à l'axe longitudinal X, passant par le point C, et un deuxième plan orthogonal à l'axe longitudinal X, passant par le point D. De même, la distance axiale entre le point E et le point F est la distance entre un troisième plan orthogonal à l'axe longitudinal X, passant par le point E, et un quatrième plan or-

thogonal à l'axe longitudinal X, passant par le point F.

- [0129] Comme illustré sur la figure 8, la surface radialement externe 339 du talon 334 peut être munie de lécettes 337 s'étendant radialement à partir de la surface radialement externe 339, afin d'assurer une étanchéité avec un carter de la turbine.
- [0130] De plus, le talon 334 peut présenter des échancrures afin de réduire la masse du talon 334 et ainsi limiter les efforts centrifuges s'exerçant sur l'aube mobile de turbine 33.
- [0131] L'aube mobile de turbine 33 peut être formée en une seule pièce unique de matériau, par exemple en métal.
- [0132] Dans un mode de réalisation, le talon 334 est formé en un matériau, et présente une difficulté  $\sigma$  définie comme :
- $$\sigma = \rho \times \frac{\pi^2}{4} \times \frac{Re^3}{Z^2} \times \left( \frac{\pi w}{30} \right)^2 \text{ où :}$$
- $\rho$  est une masse volumique du matériau du talon en kilogrammes par mètres cubes (kg/m<sup>3</sup>),
- $Re$  est le rayon externe de veine, en mètres (m),
- $Z$  est un nombre d'aubes mobiles de la roue mobile,
- $w$  est une vitesse de rotation limite de l'arbre basse pression, en nombre de tours par minute (rpm).
- [0133] La difficulté  $\sigma$  représente une contrainte de raccordement du talon 334 à la pale à profil aérodynamique 333. Plus précisément, la difficulté  $\sigma$  est équivalente à une contrainte mécanique localisée à l'endroit du rayon de raccordement entre le talon 334 et la pale à profil aérodynamique 333.
- [0134] La masse volumique du matériau du talon 334 (qui peut être formé en une seule pièce unique de matériau avec le reste de l'aube mobile de turbine) peut être compris entre 2 000 kg/m<sup>3</sup> et 10 000 kg/m<sup>3</sup>, en fonction du matériau choisi, de préférence compris entre 7 500 kg/m<sup>3</sup> et 9 000 kg/m<sup>3</sup>.
- [0135] La vitesse de rotation limite  $w$  (ou « redline speed » en anglais) de l'arbre basse pression est la vitesse de rotation de l'arbre basse pression lorsque le système propulsif aéronautique fonctionne à puissance maximale constante ou puissance maximale stabilisée (« Maximum Continuous Power » en anglais), selon le règlement de certification européen EASA CS-E 740 (ou selon le règlement de certification américain 14-CFR Part 33).
- [0136] La vitesse de rotation limite  $w$  correspond à la vitesse maximale absolue susceptible d'être rencontrée par l'arbre basse pression 11. La vitesse de rotation limite  $w$  peut être comprise entre 2 000 tours par minute (209 radians par seconde) et 30 000 tours par minute (3142 radians par seconde) inclus, par exemple entre 8 500 tours par minute (890 radians par seconde) et 12 000 tours par minute (1267 radians par seconde) inclus, de préférence entre 9 000 tours par minute (942 radians par seconde) et 11 000

tours par minute (1152 radians par seconde) inclus. Cette vitesse limite fait partie des données déclarées dans le manuel de certification du système propulsif (ou « type certificate data sheet » en anglais). En effet, cette vitesse de rotation est habituellement utilisée comme vitesse de référence pour le dimensionnement des composants des systèmes propulsifs et dans les essais de certification, tels que les essais de pertes d'aube ou d'intégrité de rotor.

- [0137] Bien entendu, l'arbre haute pression 10 présente également une vitesse limite, définie de la même manière que pour l'arbre basse pression 11, mais supérieure à celle de l'arbre basse pression 11.
- [0138] La vitesse de rotation limite de l'arbre haute pression 10 peut être comprise entre 8 000 tours par minute (838 radians par seconde) et 30 000 tours par minute (3 142 radians par seconde) inclus, de préférence entre 15 000 tours par minute (1 571 radians par seconde) et 25 000 tours par minute (2 618 radians par seconde) inclus.
- [0139] L'aube mobile de turbine 33 présente une température  $T$  mesurée lorsque l'arbre basse pression 11 tourne à la vitesse de rotation limite  $^w$ .
- [0140] La température  $T$  peut être déterminée en considérant que :
- [0141] - le premier étage de la turbine basse pression 8, dans le sens d'écoulement des gaz, est soumis à la température des gaz d'échappement (« Exhaust Gas Temperature » ou « EGT » en anglais) lorsque l'arbre basse pression 11 tourne à la vitesse de rotation limite  $^w$ ,
- [0142] - la température du dernier étage de la turbine basse pression 8, dans le sens d'écoulement des gaz, vaut 0,7 fois la température du premier étage, soit 0,7 fois la température EGT, et
- [0143] - la température évolue linéairement à travers les étages depuis la température du premier étage (égale à la température EGT) jusqu'à la température du dernier étage (égale à 0,7 fois la température EGT).
- [0144] La température des gaz d'échappement (ou température EGT) est la température des gaz d'échappement en sortie de la turbine basse pression 8 lorsque le système propulsif aéronautique fonctionne à puissance maximale constante ou puissance maximale stabilisée (« Maximum Continuous Power » en anglais), selon le règlement de certification européen EASA CS-E 740 (ou selon le règlement de certification américain 14-CFR Part 33). La température EGT fait partie des données déclarées dans le manuel de certification du système propulsif aéronautique (ou « type certificate data sheet » en anglais). Il s'agit de la température de turbine maximum admissible prescrite (« Maximum permissible Indicated Turbine Temperature » ou « ITT » en anglais) à puissance maximale constante ou puissance maximale stabilisée (« Maximum Continuous Power » en anglais). La température EGT peut être mesurée dans le plan moteur n°49.

[0145] Ainsi, pour une turbine basse pression 8 présentant  $N$  étages, la température  $T$  d'une aube mobile du  $i$ -ème étage vaut :

$T = EGT - (i - 1) \Delta T$  où  $\Delta T = \frac{0,3 \times EGT}{N-1}$  où  $\Delta T$  est la variation de température entre deux étages consécutifs, et  $EGT$  est la température EGT du système propulsif aéronautique.

[0146] La masse volumique  $\rho$  du talon 334, le rayon externe de veine  $Re$  et le nombre d'aubes mobiles de turbine  $Z$  sont choisis de telle sorte que :

- si la température  $T$  est inférieure à 759°C (1 032 K) :  $\sigma > 37.10^4$ ,
- si la température  $T$  est dans la plage allant de 759°C (1 032 K) à 1083°C (1 356 K) :  $\sigma > a \times T + b$ , où  $a = -524,69$ ,  $b = 6,4823971.10^5$ ,  $T$  étant en degrés Celsius (°C),
- si la température  $T$  est dans la plage allant de 1083°C (1 356 K) à 1117°C (1 390 K) :  $\sigma > c \times T + d$ , où  $c = -3846,2$ ,  $d = 4,24543504.10^6$ , et  $T$  étant en degrés Celsius (°C), et
- si la température  $T$  est supérieure à 1117°C (1 390 K) :  $\sigma > 0$ .

[0147] La [Fig.10] représente de manière schématique la limite de difficulté ainsi définie.

[0148] Cette conception de l'aube mobile de turbine 33 procure un compromis entre une performance accrue de la turbine basse pression 8 et une tenue mécanique de l'aube mobile de turbine 33.

[0149] En dimensionnant l'aube mobile de turbine 33 de manière à obtenir une difficulté  $\sigma$  au-dessus de la limite de conception, il est possible d'améliorer la performance de la turbine tout en garantissant la tenue mécanique du talon 334 de l'aube. Cela est rendu possible grâce à une optimisation de la conception du talon 334 (forme en trois dimensions, choix des épaisseurs, masse) ainsi qu'une sélection du matériau du talon 334.

[0150] De préférence, la masse volumique  $\rho$  du talon 334, le rayon externe de veine  $Re$  et le nombre d'aubes mobiles de turbine  $Z$  sont choisis de telle sorte que :

- si la température  $T$  est inférieure à 759°C (1 032 K) :  $\sigma > 37.10^4$ ,
- pour une température  $T$  allant de 759°C (1 032 K) à 1083°C (1 356 K) :  $\sigma > a \times T + b$ , où  $a = -524,69$ ,  $b = 7,68241.10^5$ ,  $T$  étant en degrés Celsius (°C),
- pour une température  $T$  allant de 1083°C (1 356 K) à 1135°C (1 408 K) :  $\sigma > c \times T + d$ , où  $c = -3846,2$ ,  $d = 4,365370.10^6$ ,  $T$  étant en degrés Celsius (°C), et

- pour une température  $T$  supérieure à 1135°C (1 408 K) :  $\sigma > 0$ .

[0151] De préférence, la masse volumique  $\rho$  du talon 334, le rayon externe de veine  $Re$  et le nombre d'aubes mobiles de turbine  $Z$  sont choisis de telle sorte que  $\sigma < 5.10^5$ .

[0152] Dans un mode de réalisation, un paramètre  $N2S$  est défini comme :

$$N2S = \pi(Re^2 - Ri^2) \times w^2 \text{ où :}$$

$Re$  est le rayon externe de veine en mètres (m),

$Ri$  est le rayon interne de veine en mètres (m),

$w$  est la vitesse de rotation limite de l'arbre basse pression définie précédemment, en nombre de tours par minute (rpm).

- [0153] Le paramètre  $N2S$  (également noté «  $AN^2$  » en anglais) est représentatif de l'intensité des charges mécaniques dues aux efforts centrifuges s'exerçant sur la pale à profil aérodynamique 333. Ces charges mécaniques sont supportées par la pale à profil aérodynamique 333 elle-même ainsi que par le disque mobile de turbine 32.
- [0154] L'aube mobile de turbine 33 présente une température  $T$  mesurée lorsque l'arbre d'entraînement tourne à la vitesse de rotation limite  $w$ .
- [0155] Le rayon externe de veine  $Re$  et le rayon interne de veine  $Ri$  sont choisis de telle sorte que :
- si la température  $T$  est inférieure ou égale à 700°C (973 K) :  $N2S > 33,7 \cdot 10^6 \text{ rpm}^2 \cdot \text{m}^2$ ,
  - si la température  $T$  est supérieure à 700°C (973 K) :  $N2S > a \times T + b$ , où  $a = -0,055$  et  $b = 72,2$ ,  $T$  étant en degrés Celsius (°C) et  $N2S$  étant en  $10^6 \text{ rpm}^2 \cdot \text{m}^2$ .
- [0156] La figure 11 représente de manière schématique la limite de  $N2S$  ainsi définie.
- [0157] Cette conception de l'aube mobile de turbine 33 procure un compromis entre une performance accrue de la turbine basse pression 8 et une tenue mécanique de l'aube mobile de turbine 33.
- [0158] En dimensionnant l'aube mobile de turbine 33 de manière à obtenir un paramètre  $N2S$  au-dessus de la limite de conception associée, il est possible d'améliorer la performance de la turbine tout en garantissant la tenue mécanique de la pale à profil aérodynamique 333 de l'aube. Cela est rendu possible grâce à une optimisation de la conception du talon 334 et de la pale à profil aérodynamique 333 (forme en trois dimensions, choix des épaisseurs, masse) ainsi qu'une sélection du matériau du talon 334 et de la pale à profil aérodynamique 333.
- [0159] De préférence, le rayon externe de veine  $Re$  et le rayon interne de veine  $Ri$  sont choisis de telle sorte que :
- si la température  $T$  est inférieure ou égale à 700°C (973 K) :  $N2S > 44 \cdot 10^6 \text{ rpm}^2 \cdot \text{m}^2$ ,
  - si la température  $T$  est supérieure à 700°C (973 K) :  $N2S > a \times T + b$ , où  $a = -0,055$  et  $b = 82,5$ ,  $T$  étant en degrés Celsius (°C) et  $N2S$  étant en  $10^6 \text{ rpm}^2 \cdot \text{m}^2$ .
- [0160] De préférence, le rayon externe de veine  $Re$  et le rayon interne de veine  $Ri$  sont choisis de telle sorte que  $N2S < 60 \cdot 10^6 \text{ rpm}^2 \cdot \text{m}^2$ .
- [0161] Dans un mode de réalisation, un paramètre  $\frac{F}{SL}$  est défini comme :

$$\frac{F}{SL} = N2S \times Rm \times H \times Z \times \frac{\pi^2 w^2}{900 \times Rj \times Lj} \text{ avec :}$$

$$N2S = \pi(Re^2 - Ri^2) \times w^2 \text{ et :}$$

$$Rm = \frac{Re + Ri}{2} \text{ où :}$$

$Re$  est le rayon externe de veine, en mètres (m),

$Ri$  est le rayon interne de veine, en mètres (m),

$Rm$  est le rayon moyen de veine, en mètres (m),

$H$  est la hauteur de veine, en mètres (m),

$Z$  est le nombre d'aubes,

$w$  est la vitesse de rotation limite de l'arbre basse pression définie précédemment, en nombre de tours par minute (rpm),

$Rj$  est le rayon de jante, en mètres (m),

$Lj$  est l'épaisseur de jante, en mètres (m).

[0162] Le paramètre  $\frac{F}{SL}$  est représentatif d'une difficulté de l'attache entre l'aube mobile de turbine 33 et le disque mobile de turbine 32.

[0163] L'aube mobile de turbine 33 présente une température  $T$  mesurée lorsque l'arbre basse pression 10 tourne à la vitesse de rotation limite  $w$ .

[0164] Le rayon externe de vaine  $Re$ , le rayon interne de veine  $Ri$ , le rayon de jante  $Rj$  et l'épaisseur de jante  $Lj$  sont choisis de telle sorte que :

$$\frac{F}{SL} > a \times T + b \text{ où } a = -0,6976 \text{ et } b = 694,65, T \text{ étant en degrés Celsius (°C), } N2S \text{ étant en } 10^6 \text{ rpm}^2 \cdot \text{m}^2 \text{ et } \frac{F}{SL} \text{ étant en } 10^8 \text{ Newtons par mètre cube (} 10^8 \text{ N/m}^3 \text{).}$$

[0165] La [Fig.12] représente de manière schématique la limite de difficulté ainsi définie.

[0166] De préférence, le rayon externe de veine  $Re$ , le rayon interne de veine  $Ri$ , le rayon de jante  $Rj$  et l'épaisseur de jante  $Lj$  sont choisis de telle sorte que :

$$\frac{F}{SL} > a \times T + b \text{ où } a = -0,6976 \text{ et } b = 844,65, T \text{ étant en degrés Celsius (°C), } N2S \text{ étant en } 10^6 \text{ rpm}^2 \cdot \text{m}^2 \text{ et } \frac{F}{SL} \text{ étant en } 10^8 \text{ Newtons par mètre cube (} 10^8 \text{ N/m}^3 \text{).}$$

[0167] De préférence, le rayon externe de veine  $Re$ , le rayon interne de veine  $Ri$ , le rayon de jante  $Rj$  et l'épaisseur de jante  $Lj$  sont choisis de telle sorte que  $\frac{F}{SL} < 700$ .

[0168] Dans un mode de réalisation, le rayon externe de veine  $Re$  et le rayon interne de veine  $Ri$  sont choisis de telle sorte que :

$$\frac{Ri}{Re} > a \times N2S + b \text{ avec :}$$

$$N2S = \pi(Re^2 - Ri^2) \times w^2 \text{ où :}$$

$w$  est une vitesse de rotation limite de l'arbre basse pression définie précédemment, en nombre de tours par minute (rpm),

$$a = -0,0057, \text{ et}$$

$$b = 0,7561,$$

$N2S$  étant en  $10^6 \text{ rpm}^2.\text{m}^2$ .

[0169] La figure 13 représente de manière schématique la limite du rapport  $\frac{Ri}{Re}$  ainsi défini.

[0170] Cette conception de l'aube mobile de turbine 33 procure un compromis entre une performance accrue de la turbine basse pression 8 et une tenue mécanique de l'aube mobile de turbine 33.

[0171] En dimensionnant l'aube mobile de turbine 33 de manière à obtenir un rapport  $\frac{Ri}{Re}$  au-dessus de la limite de conception associée, il est possible d'améliorer la performance de la turbine tout en garantissant la tenue mécanique de l'aube mobile de turbine 33. Cela est rendu possible grâce à une optimisation de la conception du talon 334, de la pale à profil aérodynamique 333 et du pied 332 (forme en trois dimensions, choix des épaisseurs, masse) ainsi qu'une sélection du matériau du talon 334, de la pale à profil aérodynamique 333 et du pied 332.

[0172] De préférence, le rayon externe de veine  $Re$  et le rayon interne de veine  $Ri$  sont choisis de telle sorte que :

$$\frac{Ri}{Re} > a \times N2S + b \text{ où } a = -0,0057, \text{ et } b = 0,8561, N2S \text{ étant en } 10^6 \text{ rpm}^2.\text{m}^2.$$

[0173] Le rapport  $\frac{Ri}{Re}$  est inférieur à 1, car le rayon externe de veine  $Re$  est supérieur au rayon interne de veine  $Ri$ .

[0174] Dans un mode de réalisation, la pale à profil aérodynamique 333 est dimensionnée de telle sorte que :

$$\text{- si } N2S < 15 : 0,2 < \frac{Cx_{tête}}{Cx_{pied}} < a \times N2S + b, \text{ où } a = -0,0267 \text{ et } b = 1,15, \text{ et}$$

$$\text{- si } N2S \geq 15 : \frac{Cx_{tête}}{Cx_{pied}} \in [0,2; 0,75]$$

$N2S$  étant en  $10^6 \text{ rpm}^2.\text{m}^2$ .

[0175] Comme mentionné précédemment, le paramètre  $N2S$  est représentatif de l'intensité des charges mécaniques dues aux efforts centrifuges s'exerçant sur la pale à profil aérodynamique 333.

[0176] Le rapport entre la corde en tête d'aube et la corde en pied d'aube  $\frac{Cx_{tête}}{Cx_{pied}}$  est représentatif de la forme effilée de la pale à profil aérodynamique 333. Ainsi, la forme effilée de la pale à profil aérodynamique 333 est définie en fonction des charges mécaniques dues aux efforts centrifuges s'exerçant sur la pale à profil aérodynamique 333.

[0177] La forme effilée de la pale à profil aérodynamique 333 permet d'alléger le talon 334 et par conséquent de limiter les contraintes mécaniques s'exerçant sur la pale à profil aérodynamique 333, sur le pied 332 et sur le disque mobile de turbine 32.

[0178]

$\frac{C_{x_{tête}}}{C_{x_{pied}}}$  ainsi défini, en fonction du paramètre  $N2S$ .

[0179] En dimensionnant l'aube mobile de turbine 33 de manière à obtenir un rapport  $\frac{C_{x_{tête}}}{C_{x_{pied}}}$  dans les limites de conception associées, il est possible d'optimiser la masse du talon 334 et donc de limiter les contraintes transmises par le talon 334 à la pale à profil aérodynamique 333 et à la partie d'attache 331 du pied 332, et par conséquent d'autoriser une plus grande liberté pour le dimensionnement de l'aube, ce qui permet l'atteinte d'un optimum en performance de la turbine basse pression 8.

[0180] De préférence, la pale à profil aérodynamique 333 est dimensionnée de telle sorte que :

- si  $N2S < 15$  :  $0,2 < \frac{C_{x_{tête}}}{C_{x_{pied}}} < a \times N2S + b$ , où  $a = -0,0267$  et  $b = 1$ , et

- si  $N2S \geq 15$  :  $\frac{C_{x_{tête}}}{C_{x_{pied}}} \in [0,2; 0,6]$ ,

$N2S$  étant en  $10^6 \text{ rpm}^2 \cdot \text{m}^2$ .

[0181] Sauf indication contraire, les distances, ou dimensions (longueur, largeur, rayon, diamètre, etc.) mentionnées dans la description qui précède, sont mesurées à température ambiante (environ 20°C) lorsque le système propulsif 1 est à froid, c'est-à-dire lorsque le système propulsif 1 est à l'arrêt depuis une période suffisante pour que les pièces du système propulsif 1 soient à température ambiante, étant entendu que ces dimensions varient peu par rapport aux conditions dans lesquelles le système propulsif 1 serait en régime de décollage.

### Exemple

[0182] Pour un moteur à turbine à gaz à engrenage, à double corps et à double flux, comprenant une turbine basse pression présentant 3 étages.

[0183] La roue du 1<sup>er</sup> étage de la turbine basse pression a été conçue avec les paramètres suivants :

|                                                       |      |        |     |
|-------------------------------------------------------|------|--------|-----|
| Vitesse limite de l'arbre basse pression              | $w$  | 10 000 | rpm |
| Nombre d'aubes de la roue mobile de turbine           | $Z$  | 90     |     |
| Température des aubes à la vitesse de rotation limite | $T$  | 1 100  | °C  |
| Rayon de jante                                        | $Rj$ | 0,28   | m   |
| Epaisseur de jante                                    | $Lj$ | 0,02   | m   |

|                                                                                         |                               |                      |                                                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|----------------------|--------------------------------------------------|
| Masse volumique du matériau du talon                                                    | $\rho$                        | 8 500                | kg/m <sup>3</sup>                                |
| Rayon externe de veine                                                                  | $Re$                          | 0,37                 | m                                                |
| Rayon interne de veine                                                                  | $Ri$                          | 0,27                 | m                                                |
| Rayon moyen de veine                                                                    | $Rm$                          | 0,32                 | m                                                |
| Hauteur de veine                                                                        | $H$                           | 0,1                  | m                                                |
| Longueur de corde en tête d'aube                                                        | $Cx_{tête}$                   | 0,02                 | m                                                |
| Longueur de corde en pied d'aube                                                        | $Cx_{pied}$                   | 0,035                | m                                                |
| Difficulté du talon de l'aube mobile de turbine                                         | $\sigma$                      | 14,4.10 <sup>4</sup> |                                                  |
| Paramètre $N2S$                                                                         | $N2S$                         | 20,1                 | 10 <sup>6</sup> rpm <sup>2</sup> .m <sup>2</sup> |
| Difficulté de l'attache entre une aube mobile de turbine et un disque mobile de turbine | $\frac{F}{SL}$                | 113,4                | 10 <sup>8</sup> N/m <sup>3</sup>                 |
| Rapport entre le rayon interne de veine et le rayon externe de veine                    | $\frac{Ri}{Re}$               | 0,73                 |                                                  |
| Rapport entre la corde en tête d'aube et la corde en pied d'aube                        | $\frac{Cx_{tête}}{Cx_{pied}}$ | 0,57                 |                                                  |

## Revendications

[Revendication 1]

Aube mobile de turbine (33) destinée à être montée autour d'un d'axe longitudinal (X) dans une alvéole qui débouche à la périphérie externe d'un disque de rotor (32) d'une roue mobile (8a) d'une turbine basse pression (8) d'un système propulsif aéronautique (1), le disque de rotor (32) étant destiné à être centré sur l'axe longitudinal (X) et à comprendre une pluralité d'aubes mobiles de turbine (33) réparties circonférentiellement à la périphérie externe du disque de rotor (32) le système propulsif aéronautique (1) étant destiné à comprendre un arbre d'entraînement (10) et la roue mobile (32) étant configurée pour entraîner l'arbre d'entraînement (10) en rotation autour de l'axe longitudinal (X),

l'aube mobile de turbine (33) s'étendant radialement vis-à-vis de l'axe longitudinal (X) et comprenant un pied (331) configuré pour être monté dans l'alvéole du disque de rotor (32), un talon (334), et une pale à profil aérodynamique (333) s'étendant radialement depuis le pied (331) jusqu'au talon (334), la pale à profil aérodynamique (333) présentant un bord d'attaque (341) et un bord de fuite (342),

dans laquelle le talon (334) comprend une plateforme qui présente une surface radialement interne (338) destinée à délimiter une veine de circulation de gaz,

dans laquelle le pied (331) comprend une plateforme qui présente une surface radialement externe (336) également destinée à délimiter la veine de circulation de gaz,

dans laquelle :

*Re* est un rayon externe de veine, le rayon externe de veine étant défini comme une moyenne d'une première distance radiale et d'une deuxième distance radiale, la première distance radiale étant une distance entre l'axe longitudinal (X) et un point de jonction (E) entre la surface radialement interne (338) de la plateforme du talon (334) et le bord d'attaque (341), et la deuxième distance radiale étant une distance entre l'axe longitudinal (X) et un point de jonction (F) entre la surface radialement interne (338) de la plateforme du talon (334) et le bord de fuite (342), en mètres (m),

*Ri* est un rayon interne de veine, le rayon interne de veine étant défini comme une moyenne d'une troisième distance radiale et d'une quatrième distance radiale, la troisième distance radiale étant une

distance entre l'axe longitudinal (X) et un point de jonction (C) entre la surface radialement externe (326) de la plateforme du pied (332) et le bord d'attaque (341), et la quatrième distance radiale étant une distance entre l'axe longitudinal (X) et un point de jonction (D) entre la surface radialement externe (326) de la plateforme du pied (332) et le bord de fuite (342), en mètres (m),

dans laquelle le rayon externe de veine  $Re$  et le rayon interne de veine  $Ri$  sont choisis de telle sorte que :

$$\frac{Ri}{Re} > a \times N2S + b \text{ avec :}$$

$$N2S = \pi(Re^2 - Ri^2) \times w \text{ où :}$$

$w$  est une vitesse de rotation limite destinée à être atteinte par l'arbre d'entraînement (10) en fonctionnement lorsque le système propulsif aéronautique fonctionne à puissance maximale continue, en nombre de tours par minute (rpm),

$$a = -0,0057, \text{ et}$$

$$b = 0,7561,$$

et dans laquelle le rayon externe de veine  $Re$  est compris dans une plage allant de 0,15 à 1,0 mètre et le rayon interne de veine  $Ri$  est compris dans une plage allant de 0,1 à 0,8 mètre.

[Revendication 2]

Aube mobile de turbine (33) selon la revendication 1, dans laquelle le rayon externe de veine  $Re$  et le rayon interne de veine  $Ri$  sont choisis de telle sorte que :

$$\frac{Ri}{Re} > a \times N2S + b \text{ où } a = -0,0057, \text{ et } b = 0,8561.$$

[Revendication 3]

Aube mobile de turbine (33) selon l'une des revendications 1 et 2, dans laquelle le talon (334) est formé en un matériau, et présente une difficulté  $\sigma$  définie comme :

$$\sigma = \rho \times \frac{\pi^2}{4} \times \frac{Re^3}{Z^2} \times \left( \frac{\pi w}{30} \right)^2 \text{ où :}$$

$\rho$  est une masse volumique du matériau en kilogrammes par mètres cubes (kg/m<sup>3</sup>),

$Z$  est le nombre de la pluralité d'aubes mobiles (33) destinées à être montées à la périphérie externe du disque de rotor (32),

l'aube mobile de turbine (33) étant destinée à être soumise à une température  $T$  lorsque l'arbre d'entraînement (10) tourne à la vitesse de rotation limite  $w$ , et

dans laquelle  $\rho$  et  $Re$  sont choisis de telle sorte que :

- si la température  $T$  est inférieure à 759°C :  $\sigma > 37.10^4$ ,

- si la température  $T$  est dans la plage allant de  $759^{\circ}\text{C}$  à  $1083^{\circ}\text{C}$  :  
 $\sigma > a \times T + b$ , où  $a = -524,69$ ,  $b = 6,4823971.10^5$ ,  $T$  étant en degrés Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ),
- si la température  $T$  est dans la plage allant de  $1083^{\circ}\text{C}$  à  $1117^{\circ}\text{C}$  :  
 $\sigma > c \times T + d$ , où  $c = -3846,2$ ,  $d = 4,24543504.10^6$ , et  $T$  étant en degrés Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ), et
- si la température  $T$  est supérieure à  $1117^{\circ}\text{C}$  :  $\sigma > 0$ ,  
 et dans laquelle la masse volumique du matériau  $\rho$  est comprise dans une plage allant de 2 à 10 kilogrammes par mètres cubes.

[Revendication 4]

Aube mobile de turbine (33) selon la revendication 3, dans laquelle  $\rho$  et  $Re$  sont choisis de telle sorte que :

- si la température  $T$  est inférieure à  $759^{\circ}\text{C}$  :  $\sigma > 37.10^4$ ,
- pour une température  $T$  allant de  $759^{\circ}\text{C}$  à  $1083^{\circ}\text{C}$  :  $\sigma > a \times T + b$ , où  $a = -524,69$ ,  $b = 7,68241.10^5$ ,  $T$  étant en degrés Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ),
- pour une température  $T$  allant de  $1083^{\circ}\text{C}$  à  $1135^{\circ}\text{C}$  :  $\sigma > c \times T + d$ , où  $c = -3846,2$ ,  $d = 4,365370.10^6$ ,  $T$  étant en degrés Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ), et
- pour une température  $T$  supérieure à  $1135^{\circ}\text{C}$  :  $\sigma > 0$ .

[Revendication 5]

Aube mobile de turbine (33) selon l'une des revendications 1 à 4, dans laquelle le rayon externe  $Re$  et le rayon interne  $Ri$  sont choisis de telle sorte que :

- si la température  $T$  est inférieure ou égale à  $700^{\circ}\text{C}$  :  $N2S > 33,7.10^6$  rpm $^2$ .m $^2$ ,
- si la température  $T$  est supérieure à  $700^{\circ}\text{C}$  :  $N2S > a \times T + b$ , où  $a = -0,055$  et  $b = 72,2$ ,  $T$  étant en degrés Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ).

[Revendication 6]

Aube mobile de turbine (33) selon la revendication 5, dans laquelle le rayon externe  $Re$  et le rayon interne  $Ri$  sont choisis de telle sorte que :

- si la température  $T$  est inférieure ou égale à  $700^{\circ}\text{C}$  :  $N2S > 44.10^6$  rpm $^2$ .m $^2$ ,
- si la température  $T$  est supérieure à  $700^{\circ}\text{C}$  :  $N2S > a \times T + b$ , où  $a = -0,055$  et  $b = 82,5$ ,  $T$  étant en degrés Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ).

[Revendication 7]

Aube mobile de turbine (33) selon l'une des revendications 1 à 6, dans laquelle le disque mobile de turbine (32) est destiné à présenter une surface amont (329), une surface aval (330), et chaque alvéole (327) du disque étant destinée à être délimitée par une surface de fond d'alvéole (328), et

dans laquelle un paramètre  $\frac{F}{SL}$  est défini comme :

$$\frac{F}{SL} = N2S \times Rm \times H \times \frac{w}{Rj \times Lj} \text{ avec :}$$

$$Rm = \frac{Re+Ri}{2} \text{ où :}$$

$H$  est une hauteur de veine, la hauteur de veine étant définie comme une différence entre le rayon externe de veine  $Re$  et le rayon externe de veine  $Ri$ , en mètres (m),

$Rj$  est un rayon de jante, le rayon de jante étant défini comme la plus petite distance radiale entre l'axe longitudinal (X) et la surface de fond d'alvéole (328), en mètres (m),

$Lj$  est une épaisseur de jante, l'épaisseur de jante étant définie comme une distance axiale entre un point de jonction (A) de la surface amont (329) du disque mobile de turbine (32) et de la surface de fond d'alvéole (328), et un point de jonction (B) de la surface avale (330) du disque mobile de turbine (32) et de la surface de fond d'alvéole (328), en mètres (m),

dans laquelle  $Re$  et  $Ri$  sont choisis de telle sorte que :

$$\frac{F}{sL} > a \times T + b \text{ où } a = -0,6976 \text{ et } b = 694,65, T \text{ étant en degrés Celsius (}^{\circ}\text{C)}.$$

[Revendication 8] Aube mobile de turbine (33) selon la revendication 7, dans laquelle  $Re$  et  $Ri$  sont choisis de telle sorte que :

$$\frac{F}{sL} > a \times T + b \text{ où } a = -0,6976 \text{ et } b = 844,65, T \text{ étant en degrés Celsius (}^{\circ}\text{C)}.$$

[Revendication 9] Aube mobile de turbine (33) selon l'une des revendications 1 à 8, dans laquelle

$Cx_{tête}$  est une longueur de corde en tête d'aube, la longueur de corde en tête d'aube étant définie comme une distance axiale entre un premier point (E) et un deuxième point (F), le premier point (E) étant un point de jonction entre la surface radialement interne (338) de la plateforme du talon (334) et le bord d'attaque (341) de la pale à profil aérodynamique (333), et le deuxième point (F) étant un point de jonction entre la surface radialement interne (338) de la plateforme du talon (334) et le bord de fuite (342) de la pale à profil aérodynamique (333),

$Cx_{pied}$  est une longueur de corde en pied d'aube, la longueur de corde en pied d'aube étant définie comme une distance axiale entre un troisième point (C) et un quatrième point (D), le troisième point (C) étant un point de jonction entre la surface radialement externe (326) de la plateforme du pied (332) et le bord d'attaque (341) de la pale à profil aérodynamique (333), et le quatrième point (D) étant un point de jonction entre la surface radialement externe (326) de la plateforme du

pied (332) et le bord de fuite (342) de la pale à profil aérodynamique (333),

et dans laquelle la pale à profil aérodynamique (333) est dimensionnée de telle sorte que :

- si  $N2S < 15$  :  $0,2 < \frac{C_{x_{tête}}}{C_{x_{pied}}} < a \times N2S + b$ , où  $a = -0,0267$  et

$b = 1,15$ , et

- si  $N2S \geq 15$  :  $\frac{C_{x_{tête}}}{C_{x_{pied}}} \in [0,2; 0,75]$ .

[Revendication 10]

Aube mobile de turbine (33) selon la revendication 9, dans laquelle la pale à profil aérodynamique (333) est dimensionnée de telle sorte que :

- si  $N2S < 15$  :  $0,2 < \frac{C_{x_{tête}}}{C_{x_{pied}}} < a \times N2S + b$ , où  $a = -0,0267$  et  $b = 1$ ,

et

- si  $N2S \geq 15$  :  $\frac{C_{x_{tête}}}{C_{x_{pied}}} \in [0,2; 0,6]$ .

[Revendication 11]

Roue mobile (8a) de turbine basse pression d'un système propulsif aéronautique (1), la roue mobile (8a) comprenant un disque de rotor (32) centré sur un axe longitudinal (X) et une pluralité d'aubes mobiles de turbine (33) selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, le pied de chacune des aubes mobiles de turbine (33) étant monté dans une alvéole respective du disque de rotor (32) qui débouche à la périphérie externe du disque de rotor (32), et la roue mobile (8a) étant configurée pour être entraînée en rotation par un arbre d'entraînement mobile en rotation autour de l'axe longitudinal (X) du un système propulsif aéronautique (1), la roue mobile (8a) comprenant exactement un nombre  $Z$  d'aubes mobiles de turbine (33),  $Z$  étant compris dans une plage allant de 30 à 180.

[Revendication 12]

Système propulsif aéronautique (1) comprenant une turbine basse pression (8) et un arbre d'entraînement (11) entraîné en rotation par la turbine basse pression (8) autour d'un axe longitudinal (10), la turbine basse pression (8) comprenant la roue mobile (8a) selon la revendication 11, l'arbre d'entraînement (11) présentant une vitesse de rotation limite  $w$  destinée à être atteinte par l'arbre d'entraînement (11) en fonctionnement lorsque le système propulsif aéronautique (1) fonctionne à puissance maximale constante, la vitesse de rotation limite  $w$  étant comprise dans une gamme allant de 2 000 à 30 000 tours par minute.

[Revendication 13]

Procédé de dimensionnement d'une aube mobile de turbine (33) destinée à être montée autour d'un d'axe longitudinal (X) dans une

alvéole (327) qui débouche à la périphérie externe d'un disque de rotor (32) d'une roue mobile (8a) d'une turbine basse pression (8) d'un système propulsif aéronautique (1), le disque de rotor (32) étant destiné à être centré sur l'axe longitudinal (X) et à comprendre une pluralité d'aubes mobiles (33) réparties circonférentiellement à la périphérie externe du disque de rotor (32), le système propulsif aéronautique (1) étant destiné à comprendre un arbre d'entraînement (10) et la roue mobile (8a) étant configurée pour entraîner l'arbre d'entraînement (10) en rotation autour de l'axe longitudinal (X),

l'aube mobile de turbine (33) s'étendant radialement vis-à-vis de l'axe longitudinal (X) et comprenant un pied (332) configuré pour être monté dans l'alvéole (327) du disque de rotor (32), un talon (334), et une pale à profil aérodynamique (333) s'étendant radialement depuis le pied (332) jusqu'au talon (334), la pale à profil aérodynamique (333) présentant un bord d'attaque (341) et un bord de fuite (342),

dans lequel le talon (334) comprend une plateforme qui présente une surface radialement interne (338) destinée à délimiter une veine de circulation de gaz,

dans lequel le pied (332) comprend une plateforme qui présente une surface radialement externe (336) également destinée à délimiter la veine de circulation de gaz,

dans lequel

*Re* est un rayon externe de veine, le rayon externe de veine étant défini comme une moyenne d'une première distance radiale et d'une deuxième distance radiale, la première distance radiale étant une distance entre l'axe longitudinal (X) et un point de jonction (E) entre la surface radialement interne (338) de la plateforme du talon (334) et le bord d'attaque (341), et la deuxième distance radiale étant une distance entre l'axe longitudinal (X) et un point de jonction (F) entre la surface radialement interne (338) de la plateforme du talon (334) et le bord de fuite (342), en mètres (m),

*Ri* est un rayon interne de veine, le rayon interne de veine étant défini comme une moyenne d'une troisième distance radiale et d'une quatrième distance radiale, la troisième distance radiale étant une distance entre l'axe longitudinal (X) et un point de jonction (C) entre la surface radialement externe (326) de la plateforme du pied (332) et le bord d'attaque (341), et la quatrième distance radiale étant une distance entre l'axe longitudinal (X) et un point de jonction (D) entre la surface

radialement externe (326) de la plateforme du pied (332) et le bord de fuite (342), en mètres (m),

le procédé comprenant une étape de dimensionnement de l'aube mobile de turbine (33) au cours de laquelle le rayon externe de veine  $Re$  et le rayon interne de veine  $Ri$  sont choisis de telle sorte que :

$$\frac{Ri}{Re} > a \times N2S + b \text{ avec :}$$

$$N2S = \pi(Re^2 - Ri^2) \times w \text{ où :}$$

$w$  est une vitesse de rotation limite destinée à être atteinte par l'arbre d'entraînement (10) en fonctionnement lorsque le système propulsif aéronautique fonctionne à puissance maximale continue, en nombre de tours par minute (rpm),

$$a = -0,0057, \text{ et}$$

$$b = 0,7561,$$

le rayon externe de veine  $Re$  étant compris dans une plage allant de 0,15 à 1,0 mètre et le rayon interne de veine  $Ri$  étant compris dans une plage allant de 0,1 à 0,8 mètre.

[Revendication 14] Procédé de dimensionnement selon la revendication 13, dans lequel le rayon externe de veine  $Re$  et le rayon interne de veine  $Ri$  sont choisis de telle sorte que :

$$\frac{Ri}{Re} > a \times N2S + b \text{ où } a = -0,0057, \text{ et } b = 0,8561.$$

[Revendication 15] Procédé de dimensionnement selon l'une des revendications 13 et 14, dans lequel le talon (334) est formé en un matériau, et présente une difficulté  $\sigma$  définie comme :

$$\sigma = \rho \times \frac{\pi^2}{4} \times \frac{Re^3}{Z^2} \times \left( \frac{\pi w}{30} \right)^2 \text{ où :}$$

$\rho$  est une masse volumique du matériau en kilogrammes par mètres cubes (kg/m<sup>3</sup>),

$Z$  est le nombre de la pluralité d'aubes mobiles (33) destinées à être montées à la périphérie externe du disque de rotor (32),

l'aube mobile de turbine (33) étant destinée à être soumise à une température  $T$  lorsque l'arbre d'entraînement (10) tourne à la vitesse de rotation limite  $w$ , et

le procédé comprenant une étape de dimensionnement de l'aube mobile de turbine (33) au cours de laquelle  $\rho$  et  $Re$  sont choisis de telle sorte que :

- si la température  $T$  est inférieure à 759°C :  $\sigma > 37.10^4$ ,

- si la température  $T$  est dans la plage allant de 759°C à 1083°C :

$\sigma > a \times T + b$ , où  $a = -524,69$ ,  $b = 6,4823971.10^5$ ,  $T$  étant en degrés Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ),

- si la température  $T$  est dans la plage allant de  $1083^{\circ}\text{C}$  à  $1117^{\circ}\text{C}$  :

$\sigma > c \times T + d$ , où  $c = -3846,2$ ,  $d = 4,24543504.10^6$ , et  $T$  étant en degrés Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ), et

- si la température  $T$  est supérieure à  $1117^{\circ}\text{C}$  :  $\sigma > 0$ ,

la masse volumique du matériau  $\rho$  étant comprise dans une plage allant de 2 à 10 kilogrammes par mètres cubes.

[Revendication 16] Procédé de dimensionnement selon la revendication 15, dans lequel

$\rho$  et  $Re$  sont choisis de telle sorte que :

- si la température  $T$  est inférieure à  $759^{\circ}\text{C}$  :  $\sigma > 37.10^4$ ,

- pour une température  $T$  allant de  $759^{\circ}\text{C}$  à  $1083^{\circ}\text{C}$  :  $\sigma > a \times T + b$ , où  $a = -524,69$ ,  $b = 7,68241.10^5$ ,  $T$  étant en degrés Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ),

- pour une température  $T$  allant de  $1083^{\circ}\text{C}$  à  $1135^{\circ}\text{C}$  :  $\sigma > c \times T + d$ , où  $c = -3846,2$ ,  $d = 4,365370.10^6$ ,  $T$  étant en degrés Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ), et

- pour une température  $T$  supérieure à  $1135^{\circ}\text{C}$  :  $\sigma > 0$ .

[Revendication 17] Procédé de dimensionnement selon l'une des revendications 13 à 16, comprenant une étape de dimensionnement de l'aube mobile de turbine (33) au cours de laquelle le rayon externe  $Re$  et le rayon interne  $Ri$  sont choisis de telle sorte que :

- si la température  $T$  est inférieure ou égale à  $700^{\circ}\text{C}$  :  $N2S > 33,7.10^6$  rpm $^2$ .m $^2$ ,

- si la température  $T$  est supérieure à  $700^{\circ}\text{C}$  :  $N2S > a \times T + b$ , où  $a = -0,055$  et  $b = 72,2$ ,  $T$  étant en degrés Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ).

[Revendication 18] Procédé de dimensionnement selon la revendication 17, dans lequel le rayon externe  $Re$  et le rayon interne  $Ri$  sont choisis de telle sorte que :

- si la température  $T$  est inférieure ou égale à  $700^{\circ}\text{C}$  :  $N2S > 44.10^6$  rpm $^2$ .m $^2$ ,

- si la température  $T$  est supérieure à  $700^{\circ}\text{C}$  :  $N2S > a \times T + b$ , où  $a = -0,055$  et  $b = 82,5$ ,  $T$  étant en degrés Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ).

[Revendication 19] Procédé de dimensionnement selon l'une des revendications 13 à 18, dans lequel le disque mobile de turbine (32) est destiné à présenter une surface amont (329), une surface aval (330), et chaque alvéole (327) du disque étant destinée à être délimitée par une surface de fond d'alvéole (328), et

dans lequel un paramètre  $\frac{F}{SL}$  est défini comme :

$$\frac{F}{SL} = N2S \times Rm \times H \times \frac{v}{Rj \times Lj} \text{ avec :}$$

$$Rm = \frac{Re+Ri}{2} \text{ où :}$$

$H$  est une hauteur de veine, la hauteur de veine étant définie comme une différence entre le rayon externe de veine  $Re$  et le rayon externe de veine  $Ri$ , en mètres (m),

$Rj$  est un rayon de jante, le rayon de jante étant défini comme la plus petite distance radiale entre l'axe longitudinal (X) et la surface de fond d'alvéole (328), en mètres (m),

$Lj$  est une épaisseur de jante, l'épaisseur de jante étant définie comme une distance axiale entre un point de jonction (A) de la surface amont (329) du disque mobile de turbine (32) et de la surface de fond d'alvéole (328), et un point de jonction (B) de la surface avale (330) du disque mobile de turbine (32) et de la surface de fond d'alvéole (328), en mètres (m),

le procédé comprenant une étape de dimensionnement de l'aube mobile de turbine (33) au cours de laquelle  $Re$  et  $Ri$  sont choisis de telle sorte que :

$$\frac{F}{sL} > a \times T + b \text{ où } a = -0,6976 \text{ et } b = 694,65, T \text{ étant en degrés Celsius (}^{\circ}\text{C)}.$$

[Revendication 20] Procédé de dimensionnement selon la revendication 19, dans lequel  $Re$  et  $Ri$  sont choisis de telle sorte que :

$$\frac{F}{sL} > a \times T + b \text{ où } a = -0,6976 \text{ et } b = 844,65, T \text{ étant en degrés Celsius (}^{\circ}\text{C)}.$$

[Revendication 21] Procédé de dimensionnement selon l'une des revendications 13 à 20, dans lequel

$Cx_{tête}$  est une longueur de corde en tête d'aube, la longueur de corde en tête d'aube étant définie comme une distance axiale entre un premier point (E) et un deuxième point (F), le premier point (E) étant un point de jonction entre la surface radialement interne (338) de la plateforme du talon (334) et le bord d'attaque (341) de la pale à profil aérodynamique (333), et le deuxième point (F) étant un point de jonction entre la surface radialement interne (338) de la plateforme du talon (334) et le bord de fuite (342) de la pale à profil aérodynamique (333),

$Cx_{pied}$  est une longueur de corde en pied d'aube, la longueur de corde en pied d'aube étant définie comme une distance axiale entre un troisième point (C) et un quatrième point (D), le troisième point (C) étant un point de jonction entre la surface radialement externe (326) de la plateforme du pied (332) et le bord d'attaque (341) de la pale à profil

aérodynamique (333), et le quatrième point (D) étant un point de jonction entre la surface radialement externe (326) de la plateforme du pied (332) et le bord de fuite (342) de la pale à profil aérodynamique (333),

le procédé comprenant une étape de dimensionnement de l'aube mobile de turbine (33) au cours de laquelle la pale à profil aérodynamique (333) est dimensionnée de telle sorte que :

- si  $N2S < 15$  :  $0,2 < \frac{C_{x_{tête}}}{C_{x_{pied}}} < a \times N2S + b$ , où  $a = -0,0267$  et

$b = 1,15$ , et

- si  $N2S \geq 15$  :  $\frac{C_{x_{tête}}}{C_{x_{pied}}} \in [0,2; 0,75]$ .

[Revendication 22] Procédé de dimensionnement selon la revendication 21, dans lequel la pale à profil aérodynamique (333) est dimensionnée de telle sorte que :

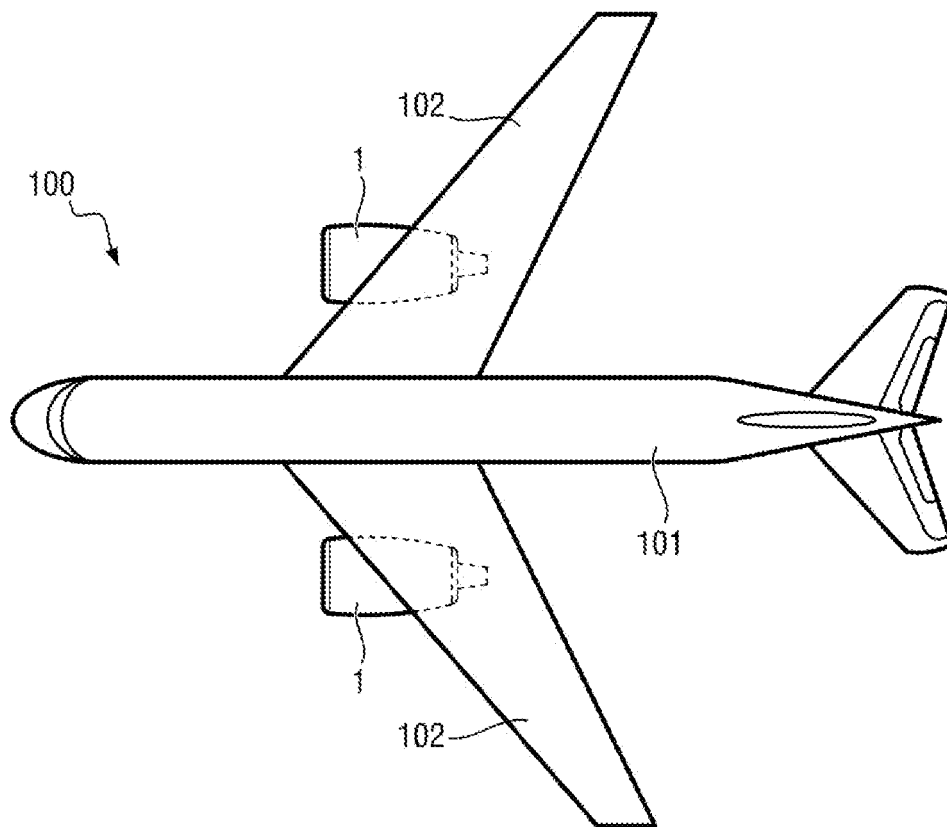
- si  $N2S < 15$  :  $0,2 < \frac{C_{x_{tête}}}{C_{x_{pied}}} < a \times N2S + b$ , où  $a = -0,0267$  et  $b = 1$ ,

et

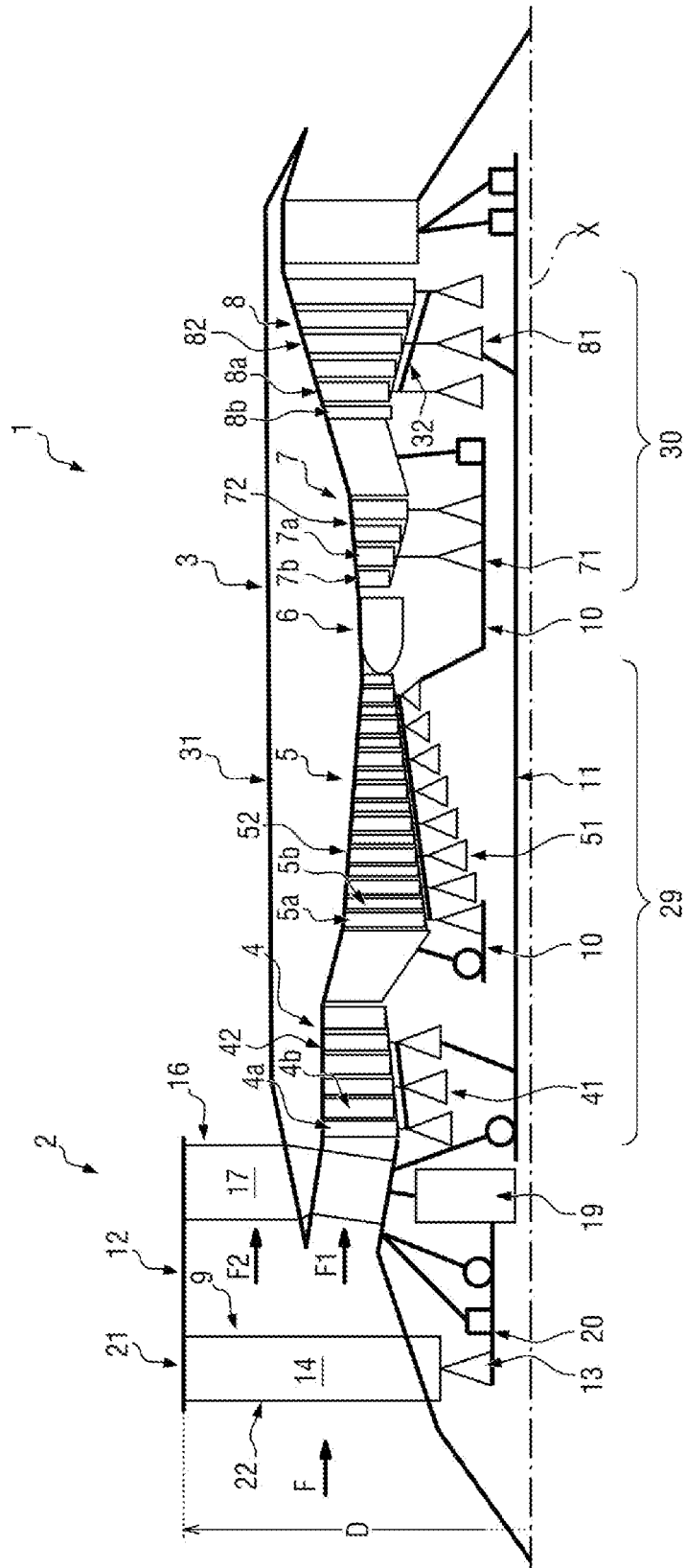
- si  $N2S \geq 15$  :  $\frac{C_{x_{tête}}}{C_{x_{pied}}} \in [0,2; 0,6]$ .

[Revendication 23] Aube mobile de turbine (33) fabriquée à partir d'un procédé de dimensionnement tel qu'il est défini par l'une des revendications 13 à 22.

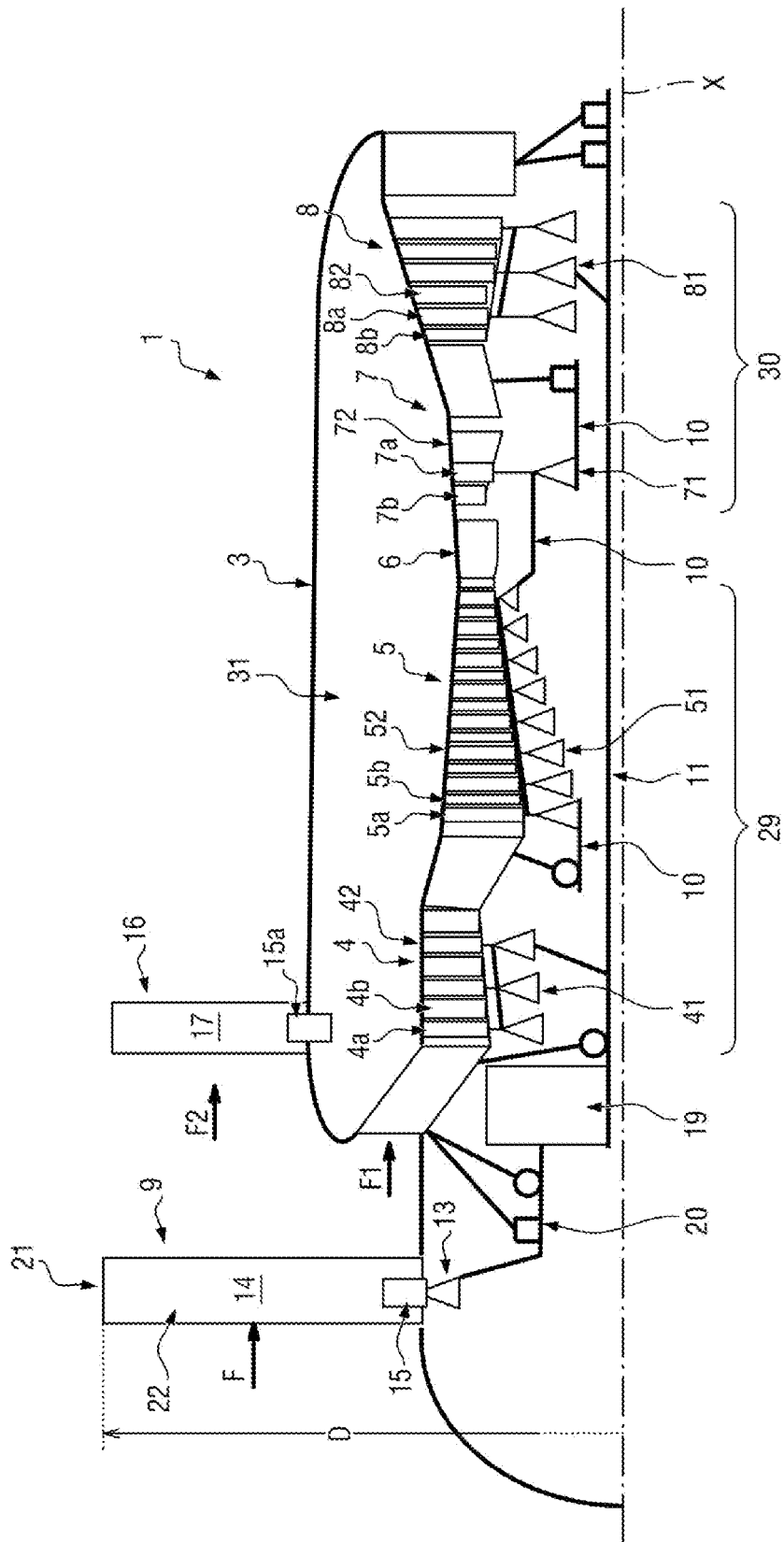
[Fig. 1]



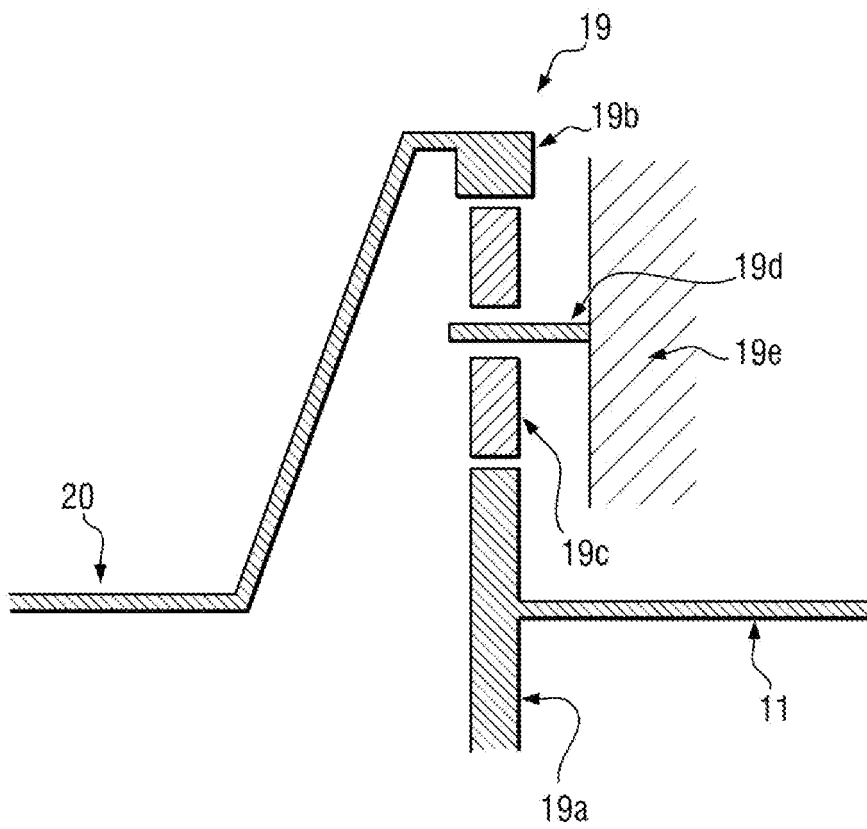
[Fig. 2]



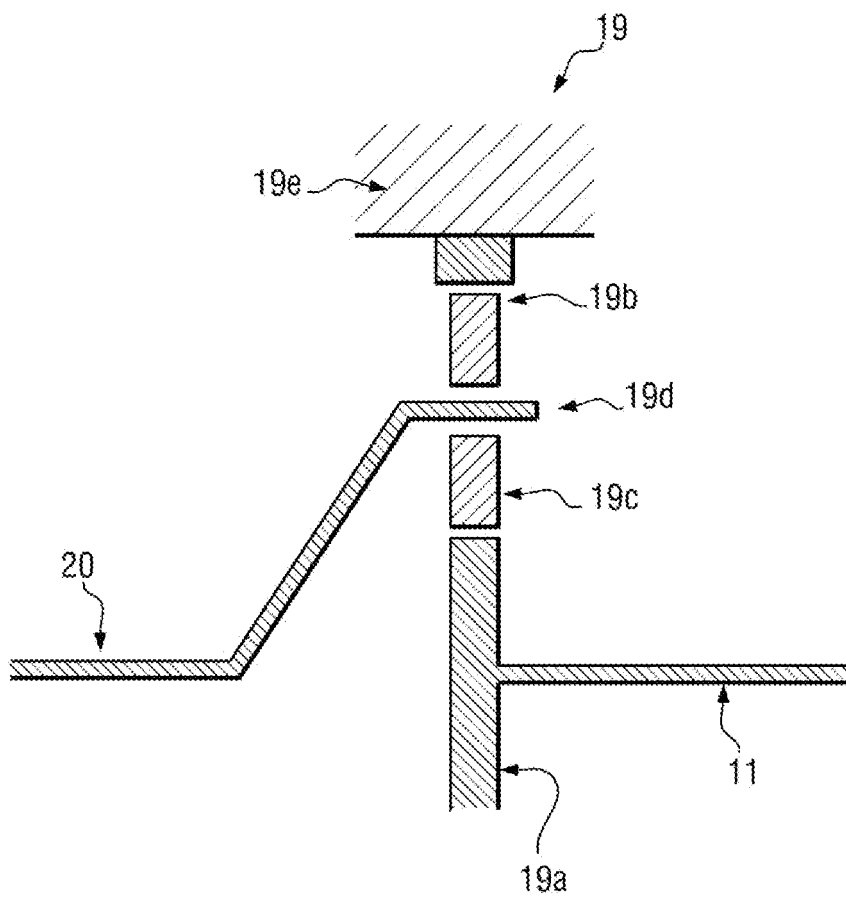
[Fig. 3]



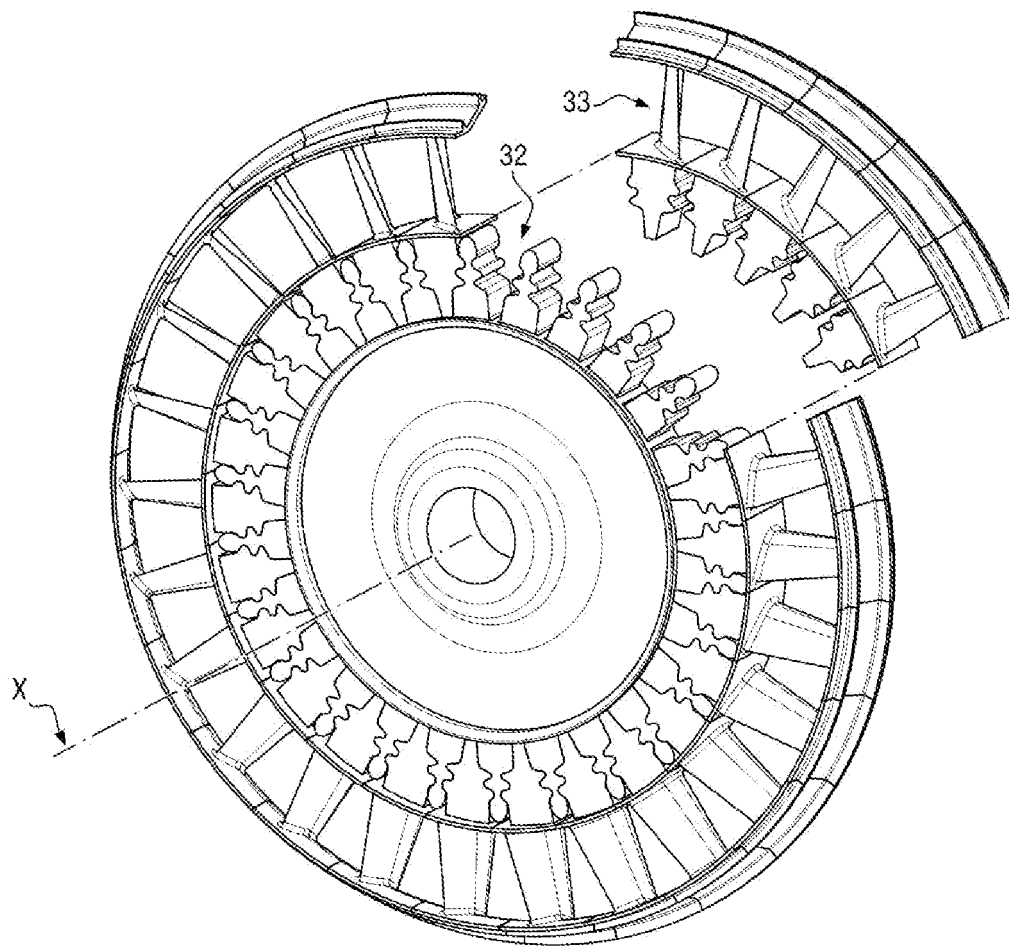
[Fig. 4]



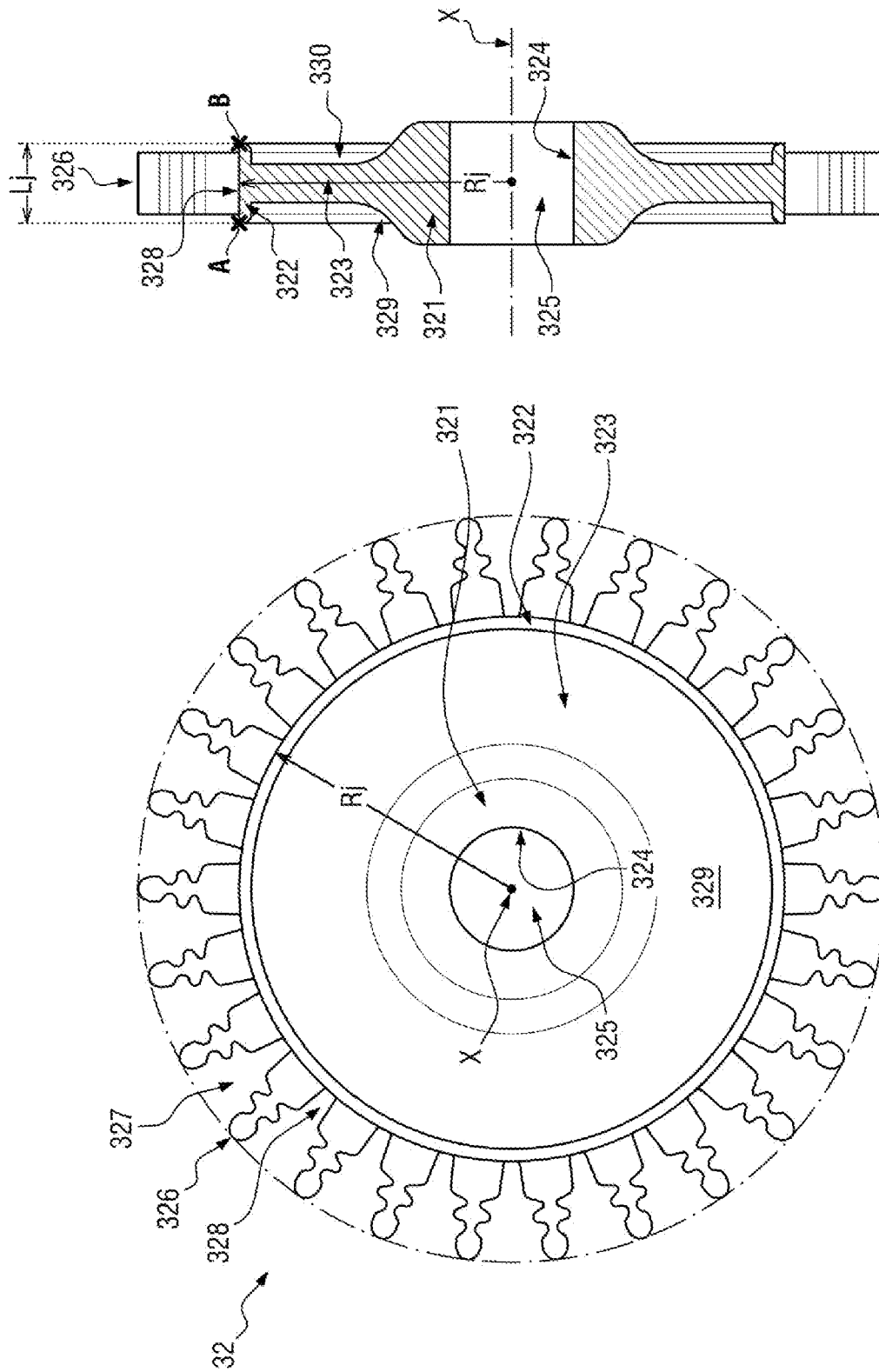
[Fig. 5]



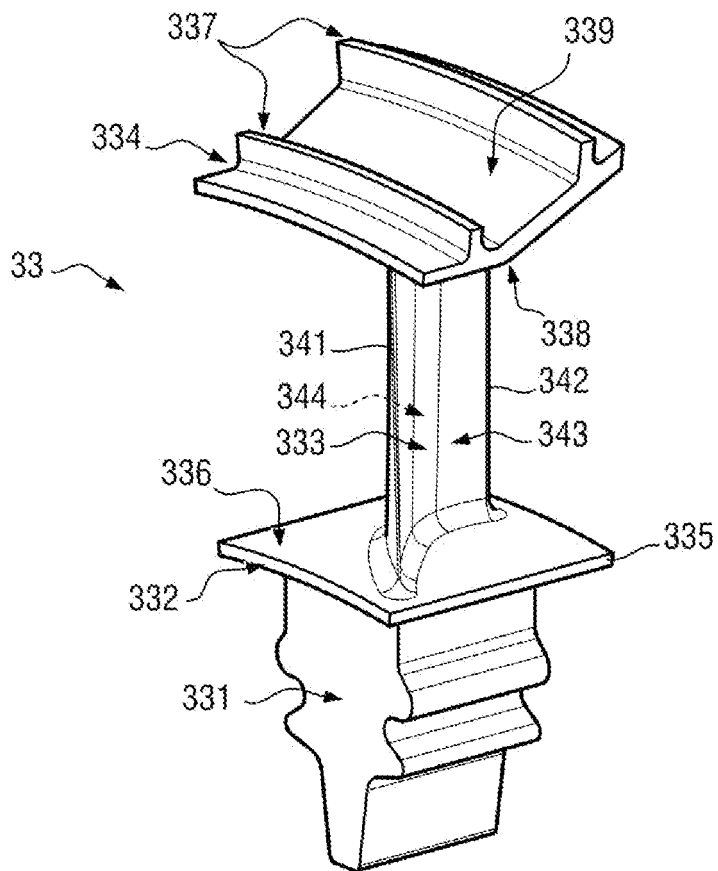
[Fig. 6]



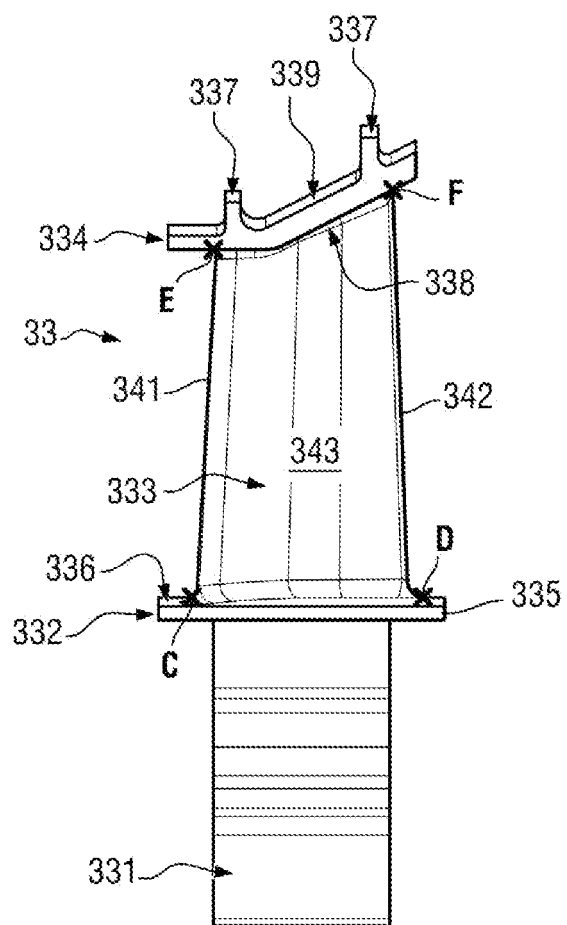
[Fig. 7]



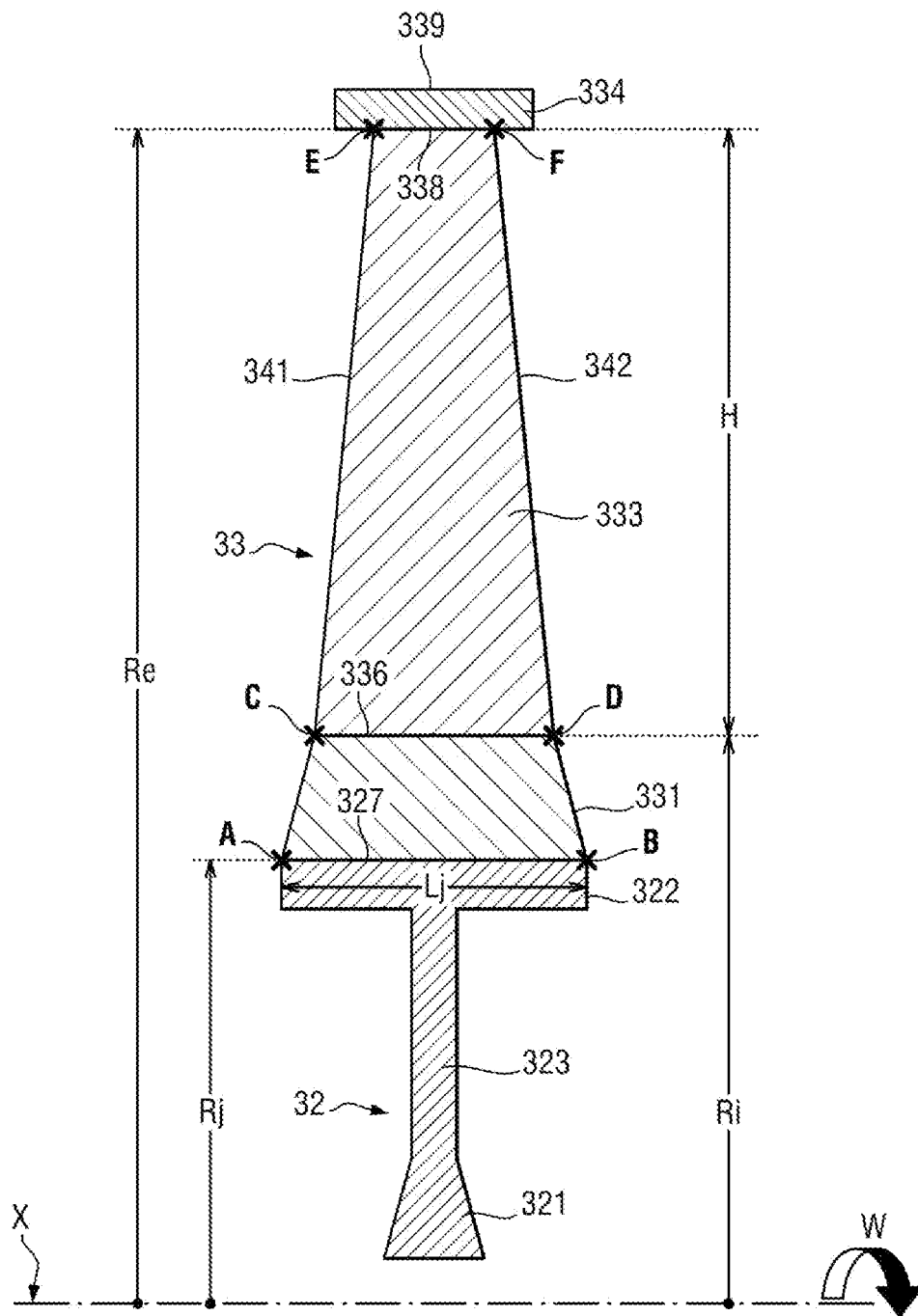
[Fig. 8A]



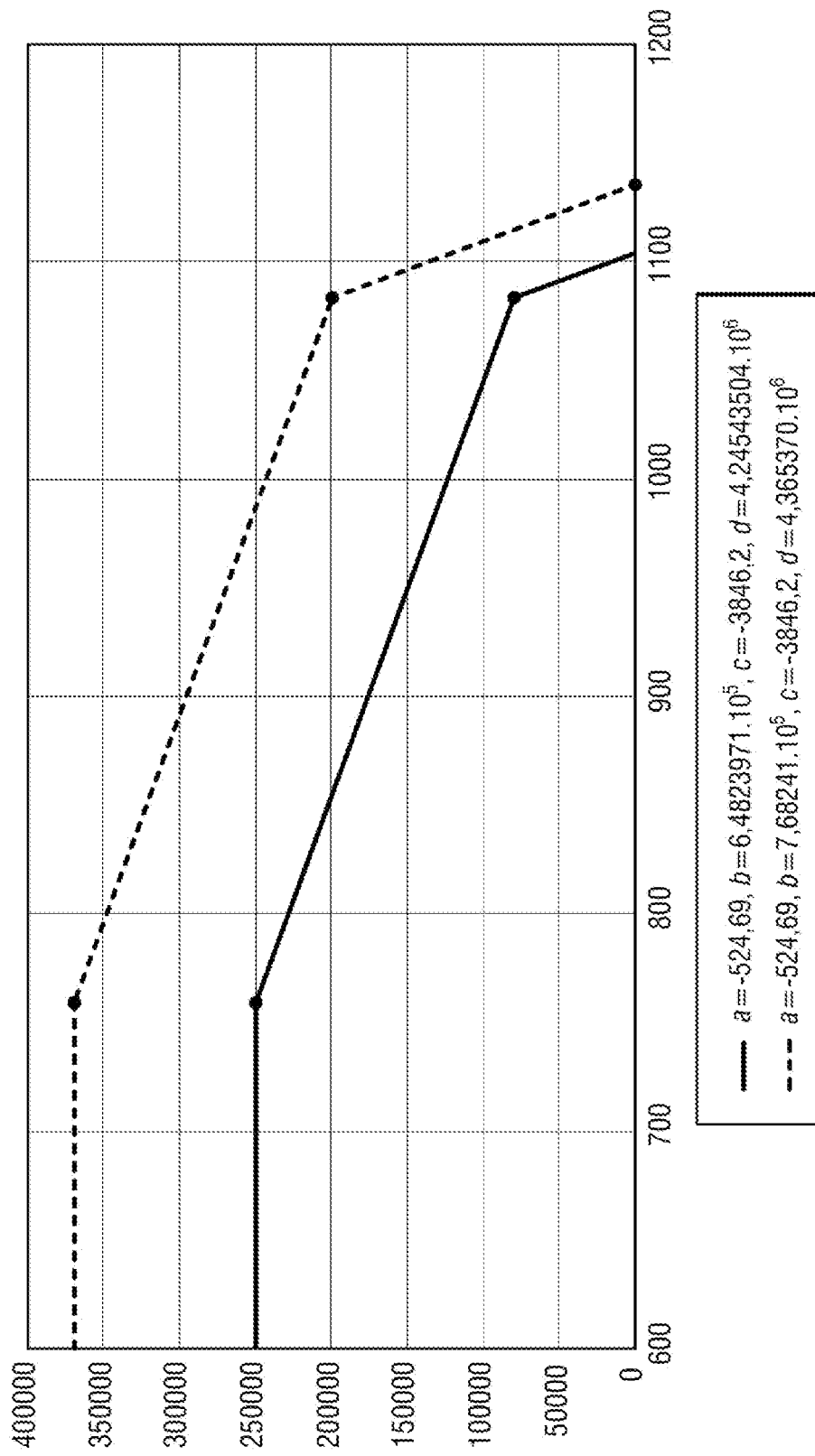
[Fig. 8B]



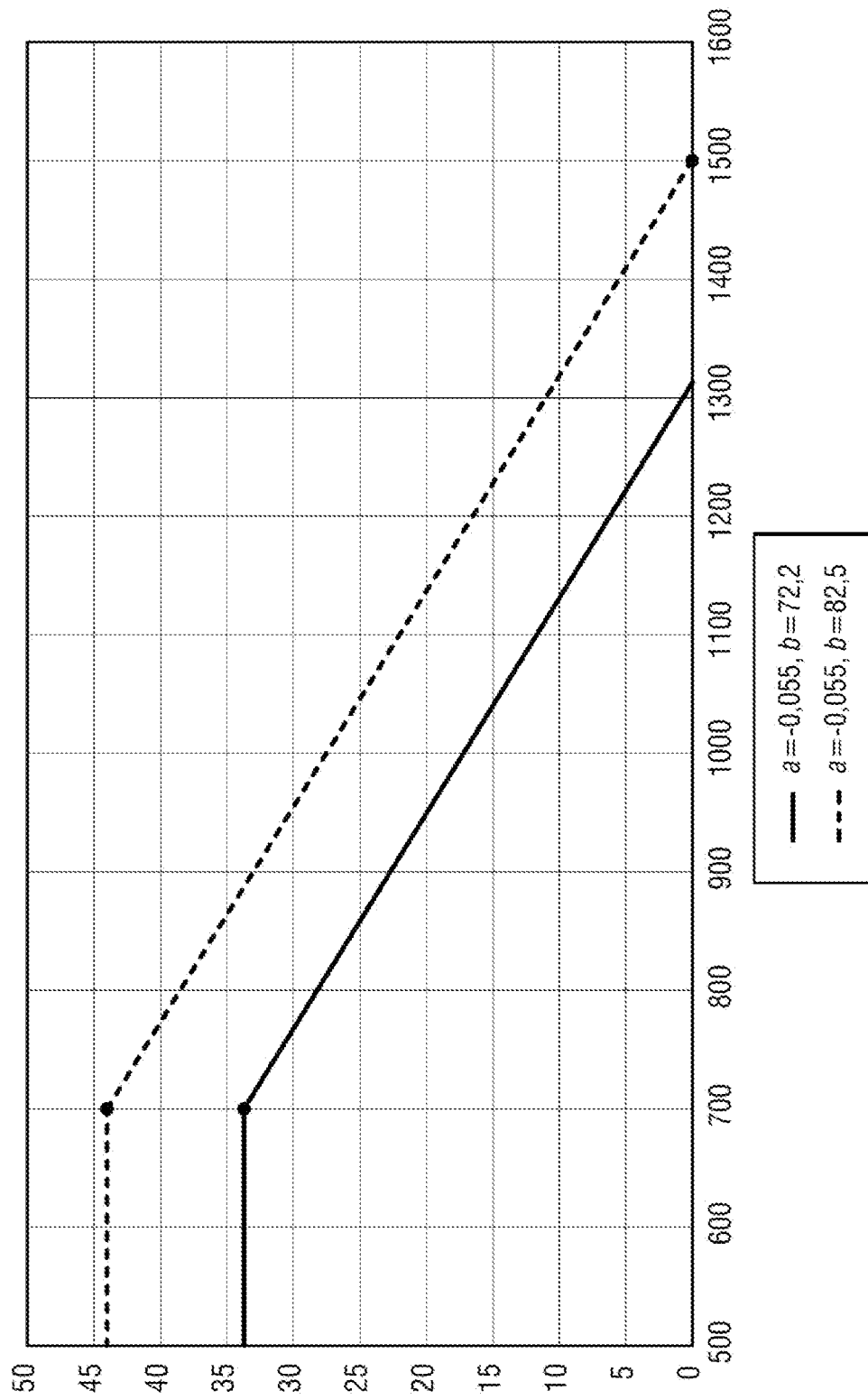
[Fig. 9]



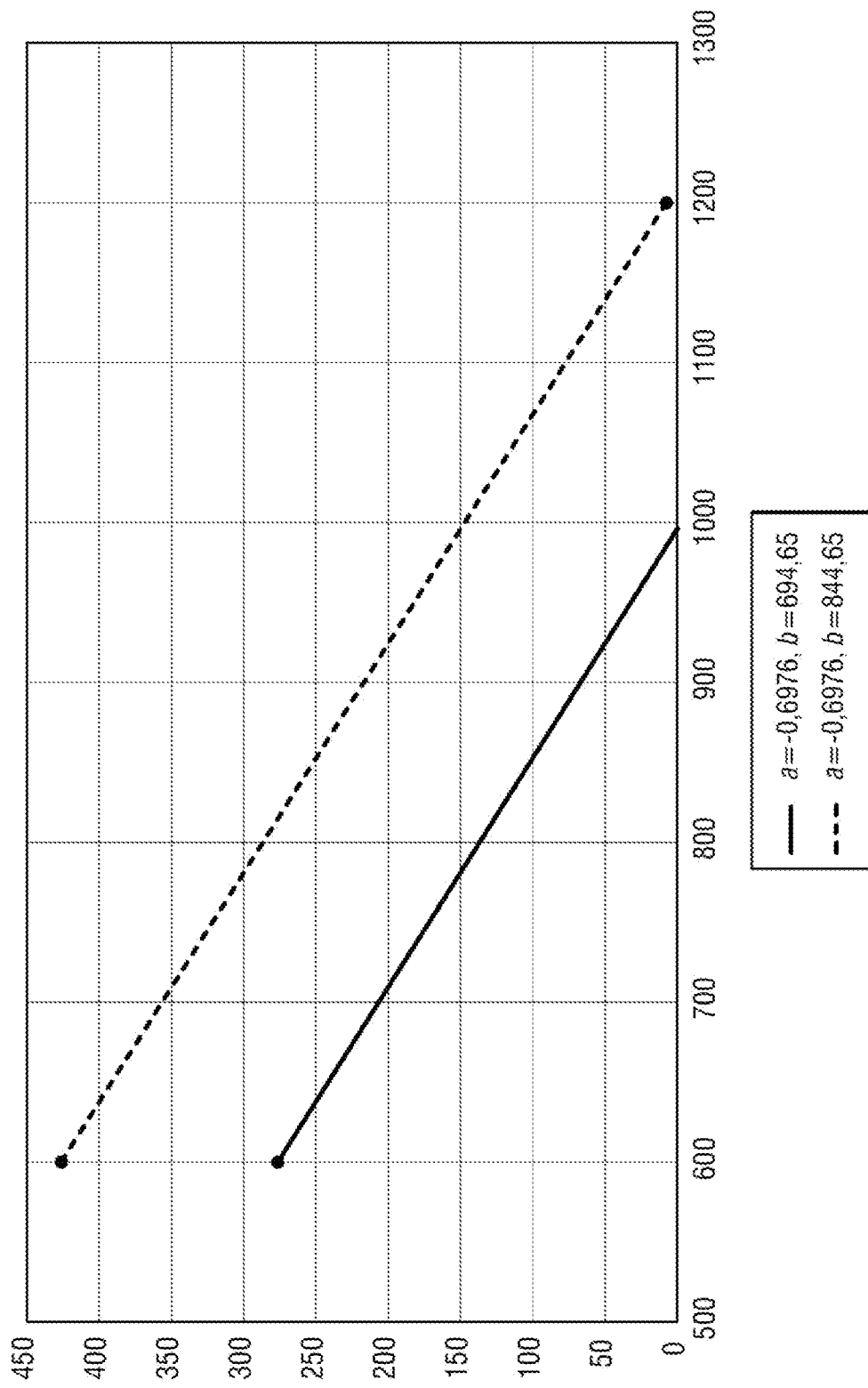
[Fig. 10]



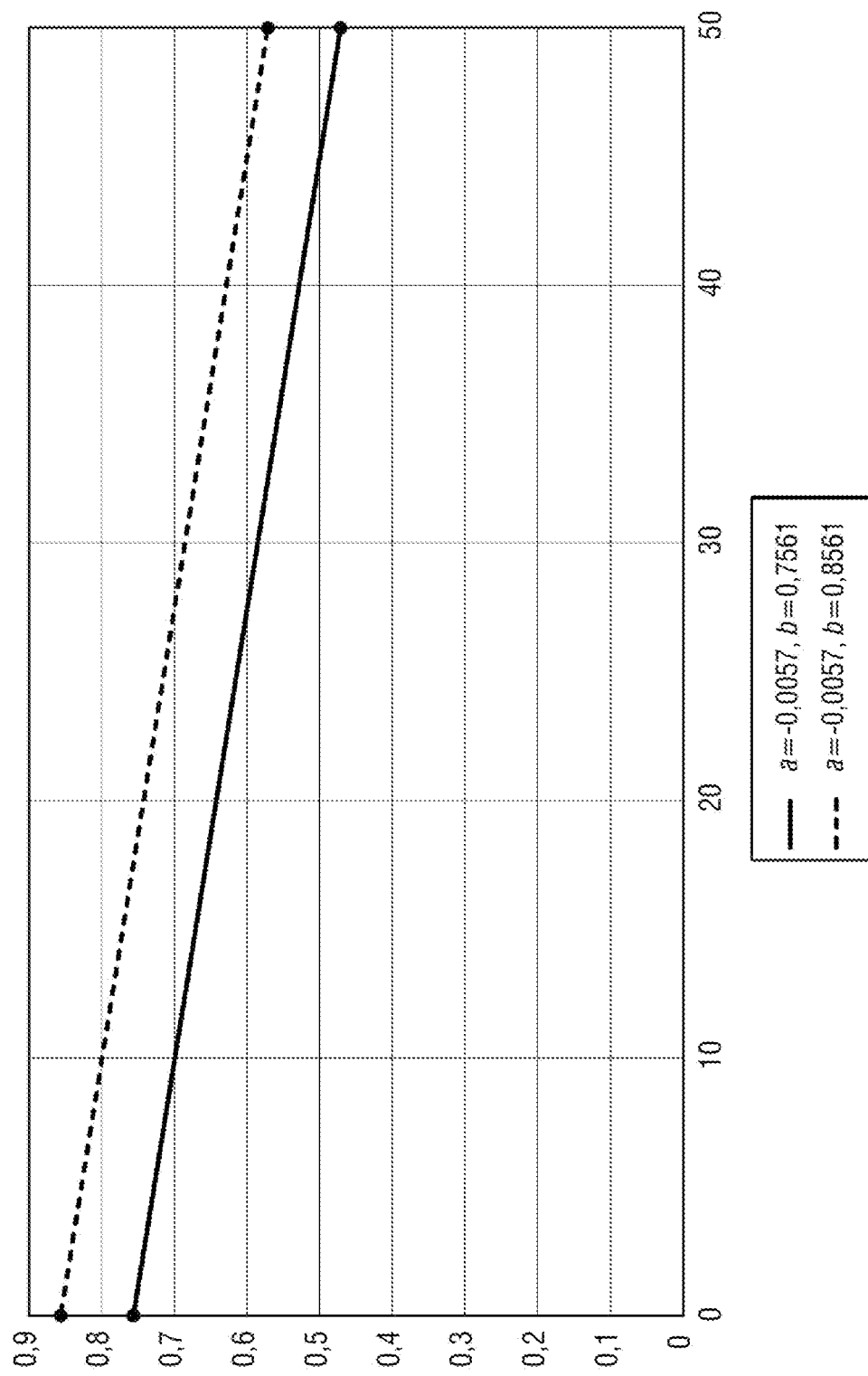
[Fig. 11]



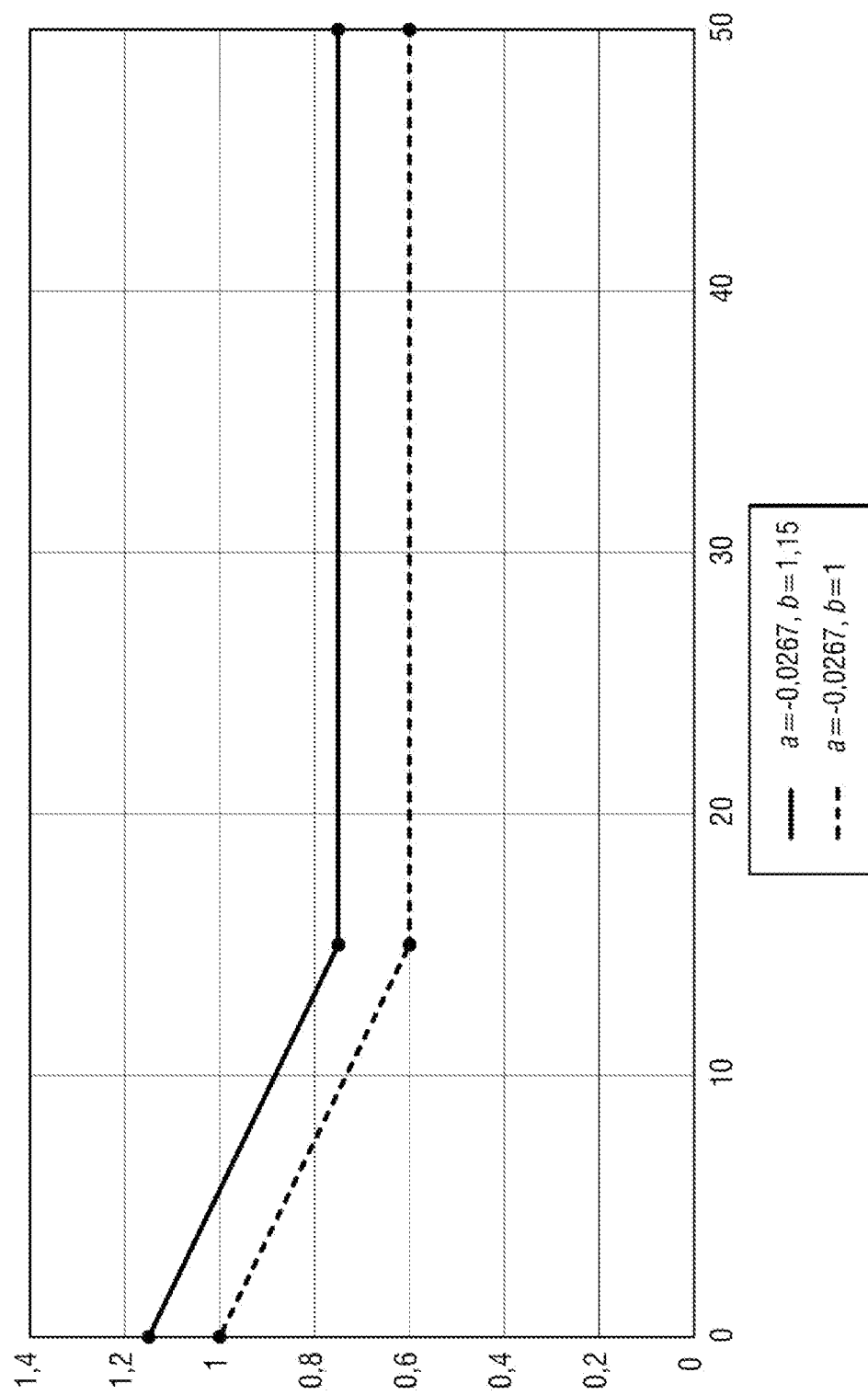
[Fig. 12]



[Fig. 13]



[Fig. 14]





# **ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE** **RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2213623 FA 913605**

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 **05-07-2023**  
 Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

| Document brevet cité<br>au rapport de recherche | Date de<br>publication | Membre(s) de la<br>famille de brevet(s) | Date de<br>publication |
|-------------------------------------------------|------------------------|-----------------------------------------|------------------------|
| <b>US 2021301731 A1</b>                         | <b>30-09-2021</b>      | <b>AUCUN</b>                            |                        |
| <b>WO 2021013281 A1</b>                         | <b>28-01-2021</b>      | <b>DE 102019210693 A1</b>               | <b>21-01-2021</b>      |
|                                                 |                        | <b>EP 3999716 A1</b>                    | <b>25-05-2022</b>      |
|                                                 |                        | <b>US 2022259977 A1</b>                 | <b>18-08-2022</b>      |
|                                                 |                        | <b>WO 2021013281 A1</b>                 | <b>28-01-2021</b>      |
| <b>US 2020270995 A1</b>                         | <b>27-08-2020</b>      | <b>DE 102019202388 A1</b>               | <b>27-08-2020</b>      |
|                                                 |                        | <b>EP 3699398 A1</b>                    | <b>26-08-2020</b>      |
|                                                 |                        | <b>US 2020270995 A1</b>                 | <b>27-08-2020</b>      |
| <b>EP 3511522 A1</b>                            | <b>17-07-2019</b>      | <b>CN 111566317 A</b>                   | <b>21-08-2020</b>      |
|                                                 |                        | <b>EP 3511522 A1</b>                    | <b>17-07-2019</b>      |
|                                                 |                        | <b>EP 3710680 A2</b>                    | <b>23-09-2020</b>      |
|                                                 |                        | <b>JP 7130753 B2</b>                    | <b>05-09-2022</b>      |
|                                                 |                        | <b>JP 2021532297 A</b>                  | <b>25-11-2021</b>      |
|                                                 |                        | <b>KR 20200100846 A</b>                 | <b>26-08-2020</b>      |
|                                                 |                        | <b>US 2020392852 A1</b>                 | <b>17-12-2020</b>      |
|                                                 |                        | <b>WO 2019194878 A2</b>                 | <b>10-10-2019</b>      |
| <b>EP 4026986 A2</b>                            | <b>13-07-2022</b>      | <b>EP 4026986 A2</b>                    | <b>13-07-2022</b>      |
|                                                 |                        | <b>US 2022220895 A1</b>                 | <b>14-07-2022</b>      |
| <b>EP 3708819 A1</b>                            | <b>16-09-2020</b>      | <b>CN 111692012 A</b>                   | <b>22-09-2020</b>      |
|                                                 |                        | <b>EP 3708819 A1</b>                    | <b>16-09-2020</b>      |
|                                                 |                        | <b>US 2020291782 A1</b>                 | <b>17-09-2020</b>      |
| <b>US 2013192266 A1</b>                         | <b>01-08-2013</b>      | <b>BR 112014016305 A2</b>               | <b>13-06-2017</b>      |
|                                                 |                        | <b>CA 2857357 A1</b>                    | <b>08-08-2013</b>      |
|                                                 |                        | <b>CA 2951916 A1</b>                    | <b>08-08-2013</b>      |
|                                                 |                        | <b>EP 2809931 A1</b>                    | <b>10-12-2014</b>      |
|                                                 |                        | <b>EP 3115292 A1</b>                    | <b>11-01-2017</b>      |
|                                                 |                        | <b>RU 2014134792 A</b>                  | <b>20-03-2016</b>      |
|                                                 |                        | <b>SG 11201403015W A</b>                | <b>26-09-2014</b>      |
|                                                 |                        | <b>US 2013192266 A1</b>                 | <b>01-08-2013</b>      |
|                                                 |                        | <b>WO 2013116262 A1</b>                 | <b>08-08-2013</b>      |