

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
COURBEVOIE

①1 N° de publication :  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

**3 043 428**

②1 N° d'enregistrement national : **15 60771**

⑤1 Int Cl<sup>8</sup> : **F 01 D 5/14 (2017.01), F 01 D 5/16, 9/04**

①2 **DEMANDE DE BREVET D'INVENTION**

**A1**

②2 **Date de dépôt** : 10.11.15.

③0 **Priorité** :

④3 **Date de mise à la disposition du public de la demande** : 12.05.17 Bulletin 17/19.

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)** : SNECMA Société anonyme — FR.

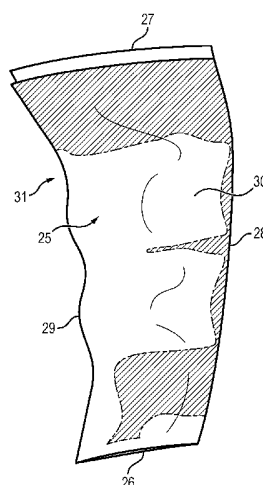
⑦2 **Inventeur(s)** : MAHIAS STEPHANE, ROGER et BATONNET BAPTISTE.

⑦3 **Titulaire(s)** : SNECMA Société anonyme.

⑦4 **Mandataire(s)** : REGIMBEAU.

⑤4 **AUBE DE REDRESSEUR DE TURBOMACHINE.**

⑤7 La présente invention concerne une aube (25) de redresseur (23) de turbomachine, d'une hauteur (H) s'étendant entre un pied d'aube (26) et une tête d'aube (27) selon une direction radiale (Z), ladite aube (25) comprenant une succession de cinq parties bombées suivant une direction tangentielle (Y) perpendiculaire à la direction radiale (Z), cette succession de parties bombées s'étendant sur toute la hauteur (H) de l'aube (25), et la convexité des parties bombées successives étant alternativement dans un sens et dans l'autre. L'aube (25) a pour avantage d'avoir une fréquence propre pour le premier mode de vibration à bandes qui est différente des fréquences de sollicitation de ladite aube (25), lors du fonctionnement de la turbomachine.



**FR 3 043 428 - A1**



## **DOMAINE TECHNIQUE GENERAL**

La présente invention concerne une aube de redresseur d'une turbomachine qui est réalisée de manière à limiter les coïncidences entre la fréquence propre de l'aube au premier mode de vibration à bandes et les  
5 fréquences de sollicitation de l'aube, lors du fonctionnement de la turbomachine.

## **ETAT DE L'ART**

De manière classique, les turbomachines à double flux s'étendent selon un axe principal et comprennent une manche d'air par laquelle un flux de gaz pénètre  
10 dans la turbomachine et dans laquelle le flux de gaz traverse une soufflante. En aval de la soufflante, le flux de gaz se sépare en un flux de gaz primaire s'écoulant dans une veine primaire et un flux de gaz secondaire s'écoulant dans une veine secondaire.

Dans la veine primaire, le flux primaire traverse, d'amont en aval, un  
15 compresseur basse pression, un compresseur haute pression, une chambre de combustion, une turbine haute pression, une turbine basse pression, et un carter d'échappement des gaz auquel est reliée une tuyère d'échappement. Dans la veine secondaire, le flux secondaire traverse un redresseur de soufflante, puis vient se mélanger au flux primaire au niveau de la tuyère d'échappement.

20 Chaque compresseur de la turbomachine comprend plusieurs étages, chaque étage étant formé par un aubage fixe ou stator ou encore redresseur, et un aubage tournant ou rotor autour de l'axe principal de la turbomachine. Le redresseur et le rotor d'un étage de compresseur comprennent chacun une pluralité d'aubes réparties de manière régulière autour de l'axe principal de la  
25 turbomachine et s'étendant radialement par rapport à cet axe, à l'intérieur de la veine primaire de sorte à être traversées par le flux primaire.

Lorsque la turbomachine est en fonctionnement, les aubes d'un redresseur de compresseur vibrent du fait de l'écoulement du flux primaire le long desdites aubes.

Or, les aubes du ou des rotors de compresseur qui sont adjacentes aux aubes de redresseur génèrent, du fait de leur rotation autour de l'axe principal de la turbomachine, des excitations harmoniques qui lorsque leur fréquence est trop proche d'une fréquence propre des aubes du redresseur entraîne des amplitudes de vibration trop importantes des aubes de redresseur qui peuvent conduire à leur détérioration ou bien même à leur rupture.

Il est connu de l'art antérieur le document FR 2 981 396 qui décrit une aube de compresseur de turbomachine d'orientation principale radiale par rapport à l'axe principal de la turbomachine, l'aube comportant une partie radialement interne de pied, une partie radialement externe de tête, une partie radialement intermédiaire, une partie bombée tangentiellement dans une direction et au moins une partie rectiligne au niveau de la partie de pied et/ou au niveau de la partie de tête. La portion bombée tangentiellement modifie la réponse en vibration de l'aube aux sollicitations en vibration, et éloigne les fréquences propres de l'aube des fréquences de sollicitation, lors du fonctionnement de la turbomachine.

Toutefois, une telle géométrie d'aube n'est pas suffisamment efficace, lorsqu'il s'agit du premier mode de vibration à bandes ou mode 2S1 (aussi appelé « stripe mode » selon la terminologie anglo-saxonne). En effet, une telle géométrie d'aube ne permet pas d'éloigner suffisamment les fréquences propres de l'aube par rapport aux fréquences de sollicitation pour ce qui concerne le mode 2S1.

La figure 1 montre une aube de redresseur d'un compresseur de turbomachine selon l'art antérieur, à l'état statique (hachures) et à l'état déformé selon le mode 2S1. On observe sur cette figure que les lignes nodales (ln) du mode 2S1 s'étendent globalement verticalement sur toute la hauteur de l'aube et délimitent de ce fait des bandes, d'où son appellation de mode « à bandes ».

## **PRESENTATION DE L'INVENTION**

La présente invention a pour but de proposer une aube de redresseur d'une turbomachine qui est réalisée de sorte que la fréquence propre de l'aube pour le

premier mode à bandes est différente des fréquences de sollicitation de ladite aube, lors du fonctionnement de la turbomachine.

Plus précisément, la présente invention a pour objet une aube de redresseur de turbomachine, d'une hauteur s'étendant entre un pied d'aube et une tête d'aube selon une direction radiale, ladite aube comprenant une succession de cinq parties bombées suivant une direction tangentielle perpendiculaire à la direction radiale, cette succession de parties bombées s'étendant sur toute la hauteur de l'aube, et la convexité des parties bombées successives étant alternativement dans un sens et dans l'autre.

Préférentiellement, l'aube est définie par une pluralité de sections empilées selon ladite direction radiale, chaque section pouvant être définie d'une part par une hauteur suivant la direction radiale à partir du pied de l'aube et d'autre part par une coordonnée tangentielle positionnant le centre de gravité de ladite section suivant une direction tangentielle perpendiculaire à la direction radiale, la courbe de la loi d'empilage qui définit pour chaque section, la coordonnée tangentielle du centre de gravité de ladite section en fonction de la hauteur de celle-ci, étant une courbe qui est continue du pied à la tête de l'aube et qui vérifie au moins les conditions suivantes :

- la courbe est située en dessous d'un segment reliant le point de ladite courbe qui correspond à la section au pied de l'aube et le point de ladite courbe qui correspond à la section à la tête de l'aube,
- la courbe est convexe entre la hauteur de section au pied de l'aube et une première hauteur de section qui est strictement supérieure à la hauteur de section au pied de l'aube,
- la courbe est concave entre la première hauteur de section et une deuxième hauteur de section qui est strictement supérieure à la première hauteur de section,
- la courbe est convexe entre la deuxième hauteur de section et une troisième hauteur de section qui est strictement supérieure à la deuxième hauteur de section,

- la courbe est concave entre la troisième hauteur de section et une quatrième hauteur de section qui est strictement supérieure à la troisième hauteur de section, et

5 - la courbe est convexe entre la quatrième hauteur de section qui est strictement inférieure à la hauteur de section à la tête de l'aube et la hauteur de section à la tête de l'aube.

Avantageusement, la coordonnée tangentielle du centre de gravité est minimale pour une cinquième hauteur de section, ladite cinquième hauteur de section étant strictement supérieure à la deuxième hauteur de section et  
10 strictement inférieure à la troisième hauteur de section.

Avantageusement, la cinquième hauteur de section correspond sensiblement à la mi-hauteur de l'aube.

Avantageusement, les première, deuxième, troisième et quatrième hauteurs de section sont réparties le long de l'aube entre la hauteur de section au pied de  
15 l'aube et la hauteur de section à la tête de l'aube de sorte à former des tronçons d'aube successifs de hauteur sensiblement égale.

Selon un premier aspect de l'invention, la courbe de la loi d'empilage des sections de l'aube :

20 - est décroissante entre la deuxième hauteur de section et une cinquième hauteur de section et croissante entre la cinquième hauteur de section et la troisième hauteur de section, ladite cinquième hauteur de section étant strictement supérieure à la deuxième hauteur de section et strictement inférieure à la troisième hauteur de section,

et/ou

25 - la courbe est décroissante entre la hauteur de section au pied de l'aube et une sixième hauteur de section et croissante entre la sixième hauteur de section et la première hauteur de section, ladite sixième hauteur de section étant strictement supérieure à la hauteur de section au pied de l'aube et strictement inférieure à la première hauteur de section,

30 et/ou

- la courbe est croissante entre la première hauteur de section et une septième hauteur de section et décroissante entre la septième hauteur de section et la deuxième hauteur de section, ladite septième hauteur de section étant strictement supérieure à la première hauteur de section et strictement inférieure à la deuxième hauteur de section,

et/ou

- la courbe est croissante entre la troisième hauteur de section et une huitième hauteur de section et décroissante entre la huitième hauteur de section et la quatrième hauteur de section, ladite huitième hauteur de section étant strictement supérieure à la troisième hauteur de section et strictement inférieure à la quatrième hauteur de section,

et/ou

- la courbe est décroissante entre la quatrième hauteur de section et une neuvième hauteur de section et croissante entre la neuvième hauteur de section et la hauteur de section à la tête de l'aube, ladite neuvième hauteur de section étant strictement supérieure à la quatrième hauteur de section et strictement inférieure à la hauteur de section à la tête de l'aube.

Préférentiellement, les points de la courbe correspondant aux cinquième, sixième, septième, huitième et neuvième hauteurs forment respectivement un troisième, un premier, un deuxième, un quatrième et un cinquième sommet de ladite courbe, et le décalage selon la direction tangentielle de chacun des sommets de la courbe par rapport à un segment reliant, pour chaque sommet, le point de la courbe disposée à mi-distance entre ledit sommet et le sommet précédent ou lorsqu'il s'agit du premier sommet, à mi-distance entre ledit premier sommet et le point de la courbe correspondant à la section au pied de l'aube, et le point de la courbe disposée à mi-distance entre ledit sommet et le sommet suivant ou lorsqu'il s'agit du cinquième sommet, à mi-distance entre ledit cinquième sommet et le point de la courbe correspondant à la section à la tête de l'aube, est sensiblement égal à 10% de la hauteur en tête d'aube.

Selon un deuxième aspect de l'invention, la courbe représentative de la loi d'empilage des sections de l'aube est décroissante entre la hauteur de section au pied de l'aube et une cinquième hauteur de section et croissante entre la cinquième hauteur de section et la hauteur de section à la tête de l'aube, ladite

5 cinquième hauteur de section étant strictement supérieure à la deuxième hauteur de section et strictement inférieure à la troisième hauteur de section.

L'invention a également pour objet un redresseur d'une turbomachine comprenant au moins une aube telle que précédemment décrite. Le redresseur est par exemple un redresseur de compresseur, de turbine ou de soufflante d'une

10 turbomachine.

L'invention a également pour objet une turbomachine comprenant au moins un redresseur tel que précédemment décrit.

### **PRESENTATION DES FIGURES**

15 D'autres caractéristiques, buts et avantages de la présente invention apparaîtront à la lecture de la description détaillée qui va suivre, et en regard des dessins annexés donnés à titre d'exemples non limitatifs et sur lesquels :

- la figure 1 (déjà décrite) est une vue en perspective d'une aube de l'art antérieur dans un état statique et dans un état déformé selon le premier
- 20 mode à bandes ou mode 2S1 ;
- la figure 2 est une vue schématique, en coupe longitudinale, d'une turbomachine selon un mode de réalisation de l'invention ;
- la figure 3a est une vue en perspective d'un exemple d'aube de redresseur pour un compresseur de turbomachine illustrée à la figure 2, selon un
- 25 premier aspect de l'invention ;
- les figures 3b à 3d sont chacune une vue en perspective d'un exemple d'aube de redresseur pour un compresseur de turbomachine illustrée à la figure 2, selon un deuxième aspect de l'invention ;

- les figures 4a à 4d sont des graphiques illustrant chacune une courbe représentative de la loi d'empilage d'une aube de redresseur conforme à l'invention ;
- les figures 5a et 5b sont des graphiques illustrant respectivement une courbe dite convexe et une courbe dite concave.

### **DESCRIPTION DETAILLEE**

La figure 2 illustre une turbomachine à double flux 10 selon un mode de réalisation de l'invention. La turbomachine 10 s'étend selon un axe principal 11 et comprend une manche d'air 12 par laquelle un flux de gaz pénètre dans la turbomachine 10 et dans laquelle le flux de gaz traverse une soufflante 13. En aval de la soufflante 13, le flux de gaz se sépare en un flux de gaz primaire s'écoulant dans une veine primaire 14 et un flux de gaz secondaire s'écoulant dans une veine secondaire 15.

Dans la veine primaire 14, le flux primaire traverse, d'amont en aval, un compresseur basse pression 16, un compresseur haute pression 17, une chambre de combustion 18, une turbine haute pression 19, une turbine basse pression 20, et un carter d'échappement des gaz auquel est reliée une tuyère d'échappement 22. Dans la veine secondaire 15, le flux secondaire traverse un aubage fixe ou redresseur de soufflante 24, puis vient se mélanger au flux primaire au niveau de la tuyère d'échappement 22.

Chaque compresseur 16, 17 de la turbomachine 10 comprend plusieurs étages, chaque étage étant formé par un aubage fixe ou stator ou encore redresseur 23, et un aubage tournant ou rotor autour de l'axe principal 11 de la turbomachine 10.

Un redresseur 23 de compresseur comprend une virole interne (non représentée) s'étendant autour de l'axe principal 11 de la turbomachine 10, une virole externe (non représentée) ménagée de manière coaxiale autour de la virole interne et délimitant avec la virole externe la veine primaire 14 ainsi qu'une

pluralité d'aubes s'étendant radialement par rapport l'axe principal 11 de la turbomachine 10 entre la virole interne et la virole externe.

La figure 3a montre un exemple d'aube 25 pour un redresseur 23 de compresseur selon un premier aspect de l'invention. Les figures 3b et 3d montrent chacune un exemple d'aube 25 pour un redresseur 23 de compresseur selon un deuxième aspect de l'invention. Sur chacune de ces figures, un exemple d'aube connu de l'art antérieur est également représenté en hachuré.

Comme illustré sur les figures 3a à 3d, l'aube 25 présente un système de référence spatial avec trois directions orthogonales X, Y, Z, la direction X étant parallèle à l'axe principal 11 de la turbomachine 10 et la direction Z étant radiale par rapport à l'axe principal 11 de la turbomachine 10. Dans la suite de la description, la direction X sera appelée « direction axiale X », la direction Y sera appelée « direction tangentielle Y » et la direction Z sera appelée « direction radiale Z ».

L'aube 25 s'étend le long de la direction radiale Z entre une partie radialement interne 26, appelée pied de l'aube, au niveau de laquelle l'aube 25 est fixée à la virole interne, et une partie radialement externe 27, appelée tête de l'aube, au niveau de laquelle l'aube 25 est fixée à la virole externe.

L'aube 25 comprend également un bord d'attaque 28 qui est situé axialement en amont selon le sens d'écoulement des gaz par rapport à l'aube 25, et un bord de fuite 29 qui est situé axialement en aval selon le sens d'écoulement des gaz par rapport à l'aube 25.

L'aube 25 présente en outre une cambrure définissant d'une part une face globalement convexe appelée « extradados » et d'autre part une face globalement concave appelée « intrados ».

L'aube 25 comprend une succession de cinq parties bombées suivant la direction tangentielle Y, cette succession de parties bombées s'étendant sur toute la hauteur H de l'aube 25, et la convexité des parties bombées successives étant alternativement dans un sens et dans l'autre.

Autrement dit, l'aube 25 présente le long de la direction radiale Z une succession de cinq portions bombées s'étendant alternativement vers l'extrados 30 et vers l'intrados 31 de l'aube 25, et non une unique portion bombée vers l'extrados 30 comme c'est le cas des aubes connues.

5 Cette succession de portions bombées permet d'éloigner la fréquence propre de l'aube 25 pour le premier mode de vibration à bandes ou mode 2S1 (aussi appelé « stripe mode » selon la terminologie anglo-saxonne) des fréquences de sollicitation de ladite aube 25, lors du fonctionnement de la turbomachine 10, réduisant ainsi les risques d'avoir des amplitudes de vibration trop importantes de l'aube 25 qui peuvent conduire à sa détérioration ou pire à sa rupture.

L'aube 25 est définie par une pluralité de sections empilées selon la direction radiale Z entre le pied d'aube 26 et la tête d'aube 27. Chaque section de 15 l'aube 25 est ainsi définie par une coordonnée h suivant la direction radiale Z, que l'on appellera « hauteur de section h » dans la suite de la description.

Chacune de ces sections est également définie par une coordonnée axiale Xg suivant la direction axiale X et par une coordonnée tangentielle Yg suivant la direction tangentielle Y du centre de gravité G de ladite section.

20 Les sections de l'aube 25 sont empilées suivant une loi d'empilage qui définit la coordonnée tangentielle Yg du centre de gravité G pour chaque section de l'aube 25 en fonction de la hauteur h de ladite section, entre une hauteur au pied de l'aube  $h_0$  et une hauteur à la tête de l'aube H. La loi d'empilage permet de définir le profil de l'aube 25.

25 Les figures 4a à 4d montrent plusieurs exemples de courbe  $C_1$  à  $C_4$  représentatives de la loi d'empilage des sections d'une aube 25, et donc du profil de l'aube 25, conforme à l'invention, ainsi qu'une courbe  $C_0$  représentative d'une loi d'empilage des sections d'une aube selon l'art antérieur. La courbe  $C_1$  est représentative de la loi d'empilage des sections de l'aube 25 illustrée à la figure 30 3a, tandis que les courbes  $C_2$  à  $C_4$  sont respectivement représentatives de la loi

d'empilage des sections des aubes 25 illustrée aux figures 3b à 3d. L'aube pour laquelle la courbe  $C_0$  est représentative de la loi d'empilage des sections est illustrée en hachuré sur les figures 3a à 3d.

5 A titre préliminaire, on définit que la courbe représentative de la loi d'empilage des sections de l'aube 25 est convexe entre une hauteur de section  $h_a$  et une hauteur de section  $h_b$ , avec  $h_a < h_b$ , lorsque la courbe est située en dessous d'un segment [AB] reliant le point A de ladite courbe correspondant à la section de hauteur  $h_a$  et le point B de ladite courbe correspondant à la section de hauteur  $h_b$ . Cette définition est illustrée à la figure 5a.

10 On définit que la courbe représentative de la loi d'empilage des sections de l'aube 25 est concave entre une hauteur de section  $h_a$  et une hauteur de section  $h_b$ , avec  $h_a < h_b$ , lorsque la courbe est située au-dessus d'un segment [AB] reliant le point A de ladite courbe correspondant à la section de hauteur  $h_a$  et le point B de ladite courbe correspondant à la section de hauteur  $h_b$ . Cette définition est  
15 illustrée à la figure 5b.

Les courbes  $C_1$  à  $C_4$  sont continues du pied 26 à la tête 27 de l'aube 25 et vérifient au moins les conditions suivantes :

- la courbe  $C_1$  à  $C_4$  est située en dessous d'un segment [PT] reliant le point P de ladite courbe correspondant à la section au pied 26 de l'aube et le point T de ladite  
20 courbe correspondant à la section à la tête 27 de l'aube,
- la courbe  $C_1$  à  $C_4$  est convexe entre la hauteur de section au pied de l'aube  $h_0$  et une première hauteur de section  $h_1$  (exclues), ladite première hauteur de section  $h_1$  étant strictement supérieure à la hauteur de section au pied de l'aube  $h_0$ ,
- la courbe  $C_1$  à  $C_4$  est concave entre la première hauteur de section  $h_1$  et une  
25 deuxième hauteur de section  $h_2$  (exclues), ladite deuxième hauteur de section  $h_2$  étant strictement supérieure à la première hauteur de section  $h_1$ ,
- la courbe  $C_1$  à  $C_4$  est convexe entre la deuxième hauteur de section  $h_2$  et une troisième hauteur de section  $h_3$  (exclues), ladite troisième hauteur de section  $h_3$  étant strictement supérieure à la deuxième hauteur de section  $h_2$ ,

- la courbe  $C_1$  à  $C_4$  est concave entre la troisième hauteur de section  $h_3$  et une quatrième hauteur de section  $h_4$  (exclues), ladite quatrième hauteur de section  $h_4$  étant strictement supérieure à la troisième hauteur de section  $h_3$ , et

5 - la courbe  $C_1$  à  $C_4$  est convexe entre la quatrième hauteur de section  $h_4$  et la hauteur de section à la tête de l'aube  $H$  (exclues), ladite quatrième hauteur de section  $h_4$  étant strictement inférieure à la hauteur de section à la tête de l'aube  $H$ .

De cette manière, l'aube 25 présente le long de la direction radiale  $Z$  une succession de cinq portions bombées s'étendant alternativement vers l'extrados 30 et vers l'intrados 31 de l'aube 25, permettant ainsi d'éloigner la fréquence propre de l'aube 25 pour le mode 2S1 des fréquences de sollicitation de ladite aube 25, lors du fonctionnement de la turbomachine 10, et de réduire les risques d'avoir des amplitudes de vibration trop importantes de l'aube 25 qui peuvent conduire à sa détérioration ou pire à sa rupture.

15 Selon un premier aspect de l'invention, la courbe représentative de la loi d'empilage des sections de l'aube 25 vérifie en outre une ou plusieurs des conditions suivantes :

- la courbe est décroissante entre la deuxième hauteur de section  $h_2$  et une cinquième hauteur de section  $h_5$  (exclues) et croissante entre la cinquième hauteur de section  $h_5$  et la troisième hauteur de section  $h_3$  (exclues), ladite cinquième hauteur de section  $h_5$  étant strictement supérieure à la deuxième hauteur de section  $h_2$  et strictement inférieure à la troisième hauteur de section  $h_3$ ,  
20 et/ou

- la courbe est décroissante entre la hauteur de section au pied de l'aube  $h_0$  et une sixième hauteur de section  $h_6$  (exclues) et croissante entre la sixième hauteur de section  $h_6$  et la première hauteur de section  $h_1$  (exclues), ladite sixième hauteur de section  $h_6$  étant strictement supérieure à la hauteur de section au pied de l'aube  $h_0$  et strictement inférieure à la première hauteur de section  $h_1$ ,  
25 et/ou

- la courbe est croissante entre la première hauteur de section  $h_1$  et une septième hauteur de section  $h_7$  (exclues) et décroissante entre la septième hauteur de section  $h_7$  et la deuxième hauteur de section  $h_2$  (exclues), ladite septième hauteur de section  $h_7$  étant strictement supérieure à la première hauteur de section  $h_1$  et strictement inférieure à la deuxième hauteur de section  $h_2$ ,

5 et/ou

- la courbe est croissante entre la troisième hauteur de section  $h_3$  et une huitième hauteur de section  $h_8$  (exclues) et décroissante entre la huitième hauteur de section  $h_8$  et la quatrième hauteur de section  $h_4$  (exclues), ladite huitième hauteur de section  $h_8$  étant strictement supérieure à la troisième hauteur de section  $h_3$  et strictement inférieure à la quatrième hauteur de section  $h_4$ ,

10 et/ou

- la courbe est décroissante entre la quatrième hauteur de section  $h_4$  et une neuvième hauteur de section  $h_9$  (exclues) et croissante entre la neuvième hauteur de section  $h_9$  et la hauteur de section à la tête de l'aube  $H$  (exclues), ladite neuvième hauteur de section  $h_9$  étant strictement supérieure à la quatrième hauteur de section  $h_4$  et strictement inférieure à la hauteur de section à la tête de l'aube  $H$ .

15 La courbe  $C_1$  illustrée à la figure 4a vérifie toutes ces conditions.

20 De cette manière, les portions bombées de l'aube 25 forment des vagues dont le sommet est disposé perpendiculairement aux lignes nodales du mode 2S1 de l'aube 25, qui s'étendent radialement (figure 1), ce qui permet d'éloigner de manière particulièrement efficace la fréquence propre de l'aube 25 pour le mode 2S1 des fréquences de sollicitation de ladite aube 25, lors du fonctionnement de la

25 turbomachine 10.

Les points de la courbe correspondant aux cinquième, sixième, septième, huitième et neuvième hauteurs  $h_5$ ,  $h_6$ ,  $h_7$ ,  $h_8$ ,  $h_9$  forment respectivement le troisième, premier, deuxième, quatrième et cinquième sommet  $S_3$ ,  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_4$ ,  $S_5$  de ladite courbe  $C_1$ .

Selon ce premier aspect de l'invention, le décalage  $\delta_i$  selon la direction tangentielle Y de chacun des sommets  $h_6, h_7, h_5, h_8, h_9$  de la courbe par rapport à un segment  $[M_iN_i]$  reliant, pour chaque sommet  $S_i$ , le point  $M_i$  de la courbe disposée à mi-distance entre ledit sommet  $S_i$  et le sommet précédent  $S_{i-1}$  ou lorsqu'il s'agit du premier sommet  $S_1$ , à mi-distance entre ledit premier sommet  $S_1$  et le point P correspondant à la section au pied de l'aube 26, et le point  $N_i$  de la courbe disposée à mi-distance entre ledit sommet  $S_i$  et le sommet suivant  $S_{i+1}$  ou lorsqu'il s'agit du cinquième sommet  $S_5$ , à mi-distance entre ledit cinquième sommet  $S_5$  et le point T correspondant à la section à la tête de l'aube 27, est sensiblement égal à 10% de la hauteur en tête d'aube H. On entend par « sensiblement égal » le fait que le décalage  $\delta_i$  est égal à 10% de la hauteur en tête d'aube H à 5% d'erreur près. Par soucis de clarté, seul le décalage  $\delta_2$  et le segment  $[M_2N_2]$  relatifs au deuxième sommet  $S_2$  sont représentés à la figure 4a.

Selon un deuxième aspect de l'invention, la courbe représentative de la loi d'empilage des sections de l'aube 25 telle que les courbes  $C_2, C_3, C_4$  illustrées aux figures 4b et 4d, vérifie la condition de laquelle la courbe est décroissante entre la hauteur de section au pied de l'aube  $h_0$  et une cinquième hauteur de section  $h_5$  (exclues) et croissante entre la cinquième hauteur de section  $h_5$  et la hauteur de section à la tête de l'aube H (exclues), ladite cinquième hauteur de section  $h_5$  étant strictement supérieure à la deuxième hauteur de section  $h_2$  et strictement inférieure à la troisième hauteur de section  $h_3$ .

Les portions bombées de l'aube 25 selon ce deuxième aspect de l'invention sont particulièrement avantageuses car elles permettent d'éloigner la fréquence propre de l'aube 25 pour le mode 2S1 des fréquences de sollicitation de ladite aube 25, lors du fonctionnement de la turbomachine 10, sans toutefois compliquer la fabrication de l'aube 25.

On remarquera en comparant la figure 3a aux figures 3b à 3d que la courbure des parties bombées de l'aube 25 sont moins marquées selon ce deuxième aspect de l'invention.

De préférence, la cinquième hauteur de section  $h_5$  correspond sensiblement à la mi-hauteur de l'aube 25. On entend par « sensiblement à la mi-hauteur » le fait que la cinquième hauteur de section  $h_5$  correspond à la mi-hauteur de l'aube 25 à 5% d'erreur près.

De préférence, la coordonnée tangentielle  $Y_g$  du centre de gravité  $G$  est minimale pour la cinquième hauteur de section  $h_5$ .

De préférence, les première, deuxième, troisième et quatrième hauteurs de section  $h_1$ ,  $h_2$ ,  $h_3$ , et  $h_4$  sont réparties le long de l'aube entre la hauteur de section au pied de l'aube  $h_0$  et la hauteur de section à la tête de l'aube  $H$  de sorte à former des tronçons d'aube successifs de hauteur sensiblement égale. On entend par « sensiblement égale » le fait que les tronçons d'aube successifs sont de hauteur égale à 5% d'erreur près.

De préférence, la coordonnée tangentielle  $Y_g$  du centre de gravité  $G$  est plus petite pour la section de hauteur au pied de l'aube  $h_0$  que pour la section de hauteur à la tête de l'aube  $H$ .

L'homme du métier pourra par exemple obtenir une courbe  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$ ,  $C_4$  en mettant en œuvre de nombreux logiciels bien connus permettant d'interpoler une courbe à partir d'un nombre fini de points préalablement définis par l'utilisateur et par lesquels la courbe interpolée doit passer. Ces points prédéfinis pourront par exemple être la coordonnée tangentielle  $Y_g$  du centre de gravité  $G$  à la hauteur de section au pied de l'aube  $h_0$ , aux première, deuxième, troisième et quatrième hauteurs de section  $h_1$ ,  $h_2$ ,  $h_3$ ,  $h_4$  et la hauteur de section à la tête de l'aube  $H$ . On pourra en outre prédéfinir la coordonnée tangentielle  $Y_g$  du centre de gravité  $G$  à la cinquième hauteur de section  $h_5$ . L'homme du métier saura à l'aide de ses connaissances générales choisir le nombre de points à prédéfinir et les définir afin que le logiciel interpole une courbe vérifiant les conditions décrites ci-dessus. En variante, la courbe  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$ ,  $C_4$  peut être interpolée en définissant le

décalage tangentiel à appliquer en plusieurs points de la courbe  $C_0$  représentative de loi d'empilage des sections de l'aube selon l'art antérieur.

On notera que les courbes  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$ ,  $C_4$  représentatives de la loi  
5 d'empilage des sections de l'aube 25 selon l'invention sont définies dans la  
description ci-dessus en considérant arbitrairement que le sens positif de la  
direction tangentielle  $Y$  s'étend depuis l'extrados 30 vers intrados 31 de l'aube 25,  
les courbes  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$ ,  $C_4$  étant situées en dessous du segment [PT]. On  
comprendra donc qu'en considérant à l'inverse que le sens positif de la direction  
10 tangentielle  $Y$  s'étend depuis l'intrados 31 vers l'extrados 30 de l'aube 25, les  
courbes  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$ ,  $C_4$  seront situées au-dessus du segment [PT] et les courbures  
décrites ci-dessus pour les courbes  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$ ,  $C_4$  seront inversées. Par exemple,  
les courbes  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$ ,  $C_4$  seront concaves entre la hauteur de section au pied de  
l'aube  $h_0$  et la première hauteur de section  $h_1$  et non plus convexes. De même, la  
15 coordonnée tangentielle  $Y_g$  du centre de gravité  $G$  sera maximale et non plus  
minimale pour la cinquième hauteur de section  $h_5$  et la coordonnée tangentielle  $Y_g$   
du centre de gravité  $G$  sera plus grande et non plus petite pour la section de  
hauteur au pied de l'aube  $h_0$  que pour la section de hauteur à la tête de l'aube  $H$ .  
L'homme du métier saura bien entendu adapter le contenu de la description en  
20 fonction du sens positif considéré pour la direction tangentielle  $Y$ .

La présente invention est décrite ci-dessous en faisant référence à une  
aube 25 de redresseur d'un compresseur 16, 17 de turbomachine 10. Toutefois,  
l'invention s'applique de la même façon à des aubes de redresseur 32 d'une  
25 turbine 19, 20 ou à des aubes de redresseur de soufflante 23, dans la mesure où  
ces aubes sont confrontées au même problème technique du fait de la rotation  
des aubes de rotor de la turbine 19, 20 ou des aubes de la soufflante 13.

## REVENDEICATIONS

1. Aube (25) de redresseur (23) de turbomachine, d'une hauteur (H) s'étendant entre un pied d'aube (26) et une tête d'aube (27) selon une direction radiale (Z),
- 5 ladite aube (25) étant caractérisée en ce qu'elle comprend une succession de cinq parties bombées suivant une direction tangentielle (Y) perpendiculaire à la direction radiale (Z), cette succession de partie bombées s'étendant sur toute la hauteur (H) de l'aube (25), et la convexité des parties bombées successives étant alternativement dans un sens et dans l'autre.
- 10
2. Aube (25) selon la revendication 1, définie par une pluralité de sections empilées selon la direction radiale (Z), chaque section pouvant être définie d'une part par une hauteur (h) suivant la direction radiale (Z) à partir du pied de l'aube et d'autre part par une coordonnée tangentielle (Yg) du centre de gravité (G) de
- 15 ladite section suivant la direction tangentielle (Y),
- la courbe de la loi d'empilage qui définit pour chaque section, la coordonnée tangentielle (Yg) du centre de gravité (G) de ladite section en fonction de la hauteur (h) de celle-ci, étant une courbe (C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub>) qui est continue du pied (26) à la tête (27) de l'aube (25) et qui vérifie au moins les conditions suivantes :
- 20 - la courbe (C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub>) est située en dessous d'un segment ([PT]) reliant le point (P) de ladite courbe qui correspond à la section au pied (26) de l'aube et le point (T) de ladite courbe qui correspond à la section à la tête (27) de l'aube,
- la courbe (C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub>) est convexe entre la hauteur de section au pied de l'aube (h<sub>0</sub>) et une première hauteur de section (h<sub>1</sub>) qui est strictement supérieure à
- 25 la hauteur de section au pied (26) de l'aube (h<sub>0</sub>),
- la courbe (C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub>) est concave entre la première hauteur de section (h<sub>1</sub>) et une deuxième hauteur de section (h<sub>2</sub>) qui est strictement supérieure à la première hauteur (h<sub>1</sub>),

- la courbe ( $C_1, C_2, C_3, C_4$ ) est convexe entre la deuxième hauteur de section ( $h_2$ ) et une troisième hauteur de section ( $h_3$ ), qui est strictement supérieure à la deuxième hauteur ( $h_2$ ),

5 - la courbe ( $C_1, C_2, C_3, C_4$ ) est concave entre la troisième hauteur de section ( $h_3$ ) et une quatrième hauteur de section ( $h_4$ ), qui est strictement supérieure à la troisième hauteur de section ( $h_3$ ), et

- la courbe ( $C_1, C_2, C_3, C_4$ ) est convexe entre la quatrième hauteur de section ( $h_4$ ) et la hauteur de section à la tête de l'aube ( $H$ ), ladite quatrième hauteur ( $h_4$ ) étant strictement inférieure à la hauteur de section à la tête de l'aube ( $H$ ).

10

3. Aube (25) selon la revendication 2, dans laquelle : la courbe ( $C_1$ ) de la loi d'empilage des sections de l'aube (25) :

15 - est décroissante entre la deuxième hauteur de section ( $h_2$ ) et une cinquième hauteur de section ( $h_5$ ) et croissante entre la cinquième hauteur de section ( $h_5$ ) et la troisième hauteur de section ( $h_3$ ), ladite cinquième hauteur de section ( $h_5$ ) étant strictement supérieure à la deuxième hauteur de section ( $h_2$ ) et strictement inférieure à la troisième hauteur de section ( $h_3$ ),

et/ou

20 - la courbe ( $C_1$ ) est décroissante entre la hauteur de section au pied de l'aube ( $h_0$ ) et une sixième hauteur de section ( $h_6$ ) et croissante entre la sixième hauteur de section ( $h_6$ ) et la première hauteur de section ( $h_1$ ), ladite sixième hauteur de section ( $h_6$ ) étant strictement supérieure à la hauteur de section au pied de l'aube ( $h_0$ ) et strictement inférieure à la première hauteur de section ( $h_1$ ),

25

et/ou

30 - la courbe ( $C_1$ ) est croissante entre la première hauteur de section ( $h_1$ ) et une septième hauteur de section ( $h_7$ ) et décroissante entre la septième hauteur de section ( $h_7$ ) et la deuxième hauteur de section ( $h_2$ ), ladite septième hauteur de section ( $h_7$ ) étant strictement supérieure à la première

hauteur de section ( $h_1$ ) et strictement inférieure à la deuxième hauteur de section ( $h_2$ ),

et/ou

5 - la courbe ( $C_1$ ) est croissante entre la troisième hauteur de section ( $h_3$ ) et une huitième hauteur de section ( $h_8$ ) et décroissante entre la huitième hauteur de section ( $h_8$ ) et la quatrième hauteur de section ( $h_4$ ), ladite huitième hauteur de section ( $h_8$ ) étant strictement supérieure à la troisième hauteur de section ( $h_3$ ) et strictement inférieure à la quatrième hauteur de section ( $h_4$ ),

10 et/ou

- la courbe ( $C_1$ ) est décroissante entre la quatrième hauteur de section ( $h_4$ ) et une neuvième hauteur de section ( $h_9$ ) et croissante entre la neuvième hauteur de section ( $h_9$ ) et la hauteur de section à la tête de l'aube ( $H$ ), ladite neuvième hauteur de section ( $h_9$ ) étant strictement supérieure à la  
15 quatrième hauteur de section ( $h_4$ ) et strictement inférieure à la hauteur de section à la tête de l'aube ( $H$ ).

4. Aube (25) selon la revendication 3, dans laquelle les points de la courbe correspondant aux cinquième, sixième, septième, huitième et neuvième hauteurs  
20 ( $h_5$ ,  $h_6$ ,  $h_7$ ,  $h_8$ ,  $h_9$ ) forment respectivement un troisième, un premier, un deuxième, un quatrième et un cinquième sommet ( $S_3$ ,  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_4$ ,  $S_5$ ) de ladite courbe, et dans laquelle le décalage ( $\delta_i$ ) selon la direction tangentielle ( $Y$ ) de chacun des sommets ( $S_3$ ,  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_4$ ,  $S_5$ ) de la courbe par rapport à un segment ( $[M_iN_i]$ ) reliant, pour chaque sommet ( $S_i$ ), le point ( $M_i$ ) de la courbe disposée à mi-distance entre  
25 ledit sommet ( $S_i$ ) et le sommet précédent ( $S_{i-1}$ ) ou lorsqu'il s'agit du premier sommet ( $S_1$ ), à mi-distance entre ledit premier sommet ( $S_1$ ) et le point ( $P$ ) de la courbe correspondant à la section au pied (26) de l'aube, et le point ( $N_i$ ) de la courbe disposée à mi-distance entre ledit sommet ( $S_i$ ) et le sommet suivant ( $S_{i+1}$ ) ou lorsqu'il s'agit du cinquième sommet ( $S_5$ ), à mi-distance entre ledit cinquième

sommet ( $S_5$ ) et le point (T) de la courbe correspondant à la section à la tête (27) de l'aube, est sensiblement égal à 10% de la hauteur en tête d'aube (H).

5. Aube (25) selon la revendication 2, dans laquelle la courbe ( $C_2$ ,  $C_3$ ,  $C_4$ ) représentative de la loi d'empilage des sections de l'aube (25) est décroissante entre la hauteur de section au pied de l'aube ( $h_0$ ) et une cinquième hauteur de section ( $h_5$ ) et croissante entre la cinquième hauteur de section ( $h_5$ ) et la hauteur de section à la tête de l'aube (H), ladite cinquième hauteur de section ( $h_5$ ) étant strictement supérieure à la deuxième hauteur de section ( $h_2$ ) et strictement inférieure à la troisième hauteur de section ( $h_3$ ).

6. Aube (25) selon l'une quelconque des revendications 2 à 5, dans laquelle la coordonnée tangentielle ( $Y_g$ ) du centre de gravité (G) est minimale pour une cinquième hauteur de section ( $h_5$ ), ladite cinquième hauteur de section ( $h_5$ ) étant strictement supérieure à la deuxième hauteur de section ( $h_2$ ) et strictement inférieure à la troisième hauteur de section ( $h_3$ ).

7. Aube (25) selon l'une quelconque des revendications 3 à 6, dans laquelle la cinquième hauteur de section ( $h_5$ ) correspond sensiblement à la mi-hauteur de l'aube (25).

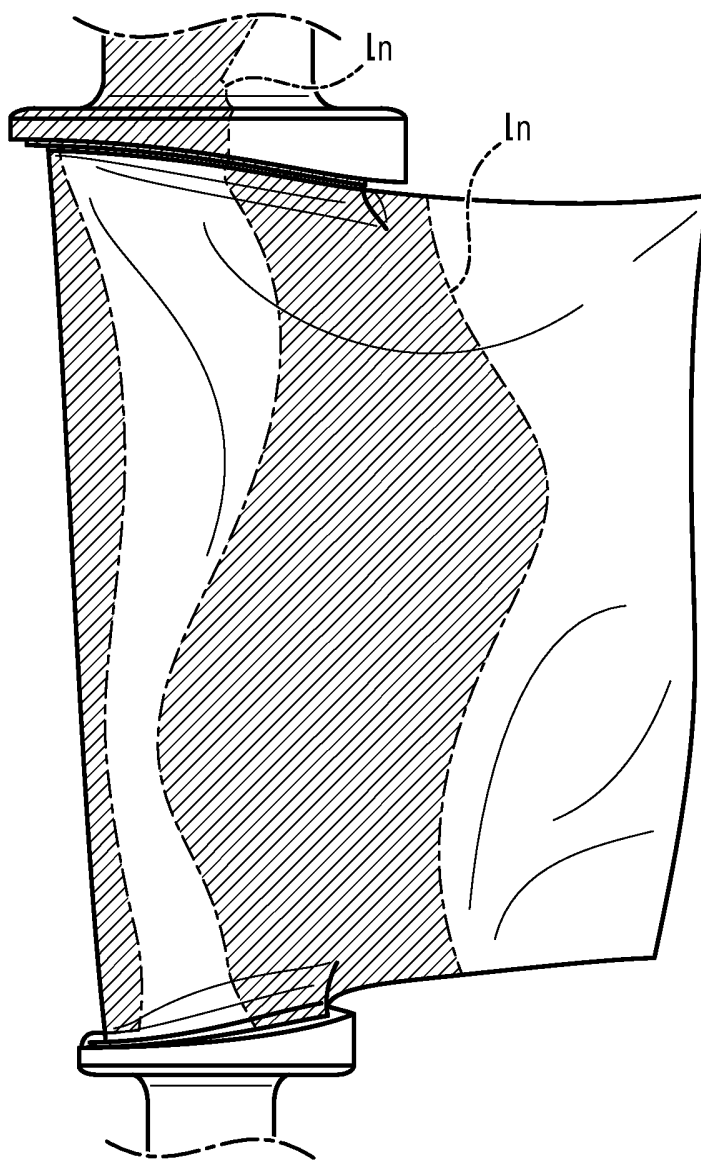
8. Aube (25) selon l'une quelconque des revendications 2 à 7, dans laquelle les première, deuxième, troisième et quatrième hauteurs de section ( $h_1$ ,  $h_2$ ,  $h_3$ ,  $h_4$ ) sont réparties le long de l'aube (25) entre la hauteur de section au pied de l'aube ( $h_0$ ) et la hauteur de section à la tête de l'aube (H) de sorte à former des tronçons d'aube (25) successifs de hauteur sensiblement égale.

9. Redresseur (23, 24, 32) d'une turbomachine comprenant au moins une aube (25) selon l'une quelconque des revendications 1 à 8.

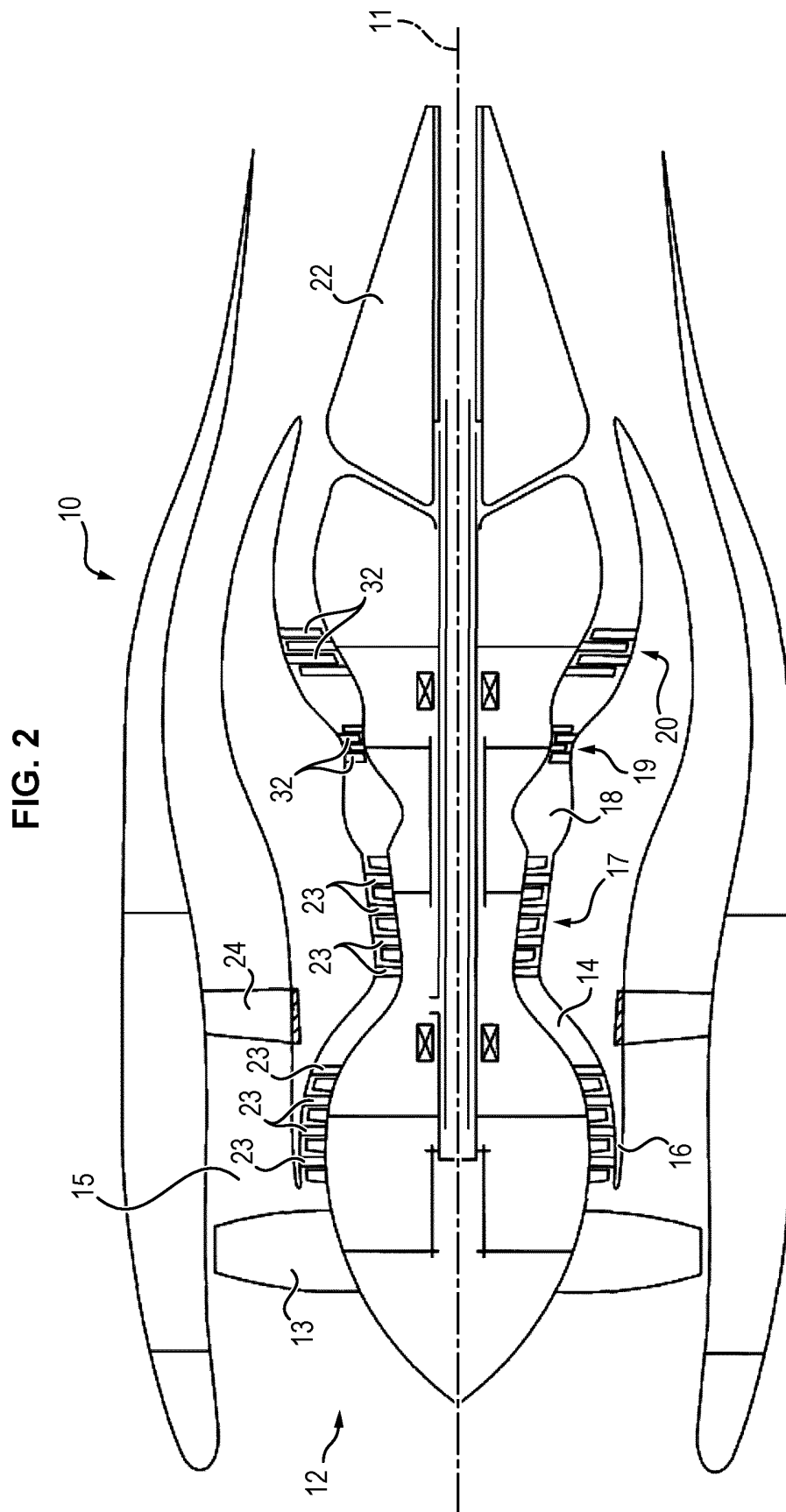
10. Turbomachine (10) comprenant au moins un redresseur (23, 24, 32) selon la revendication 9.

1/11

FIG. 1

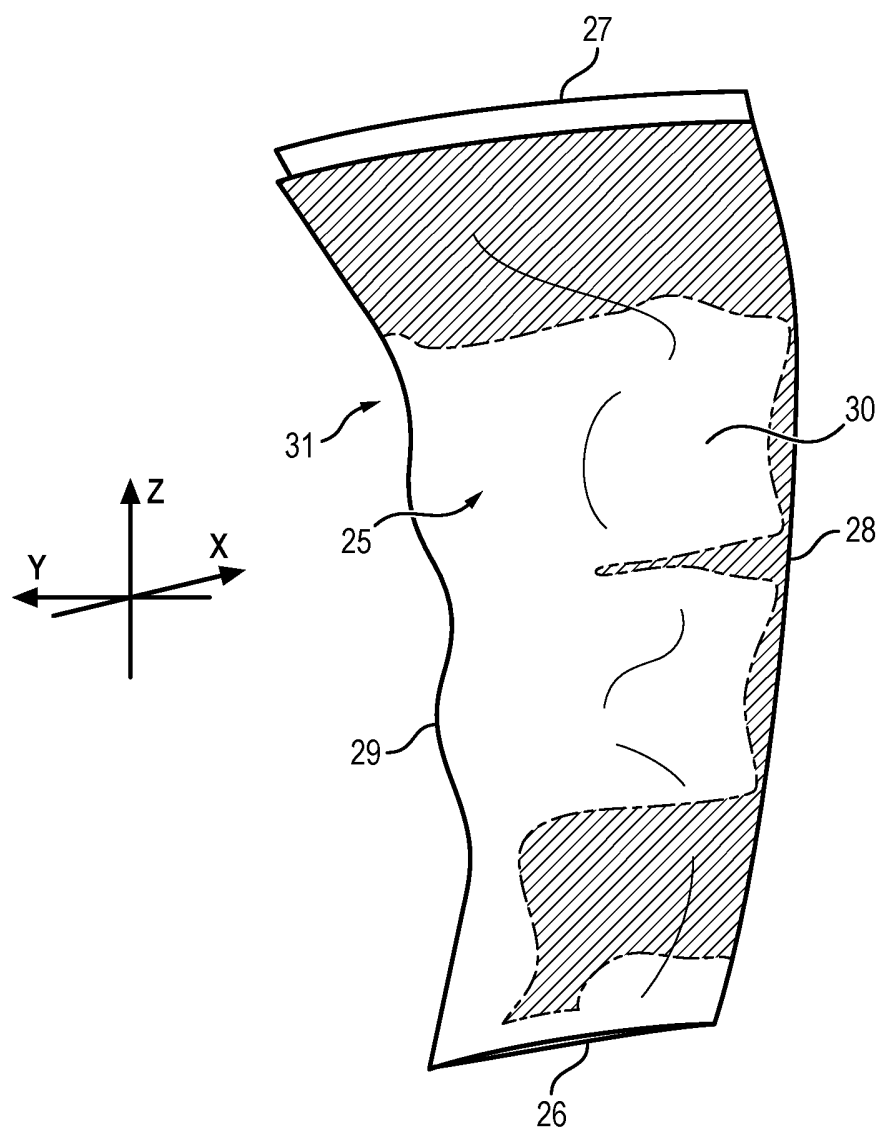


2/11



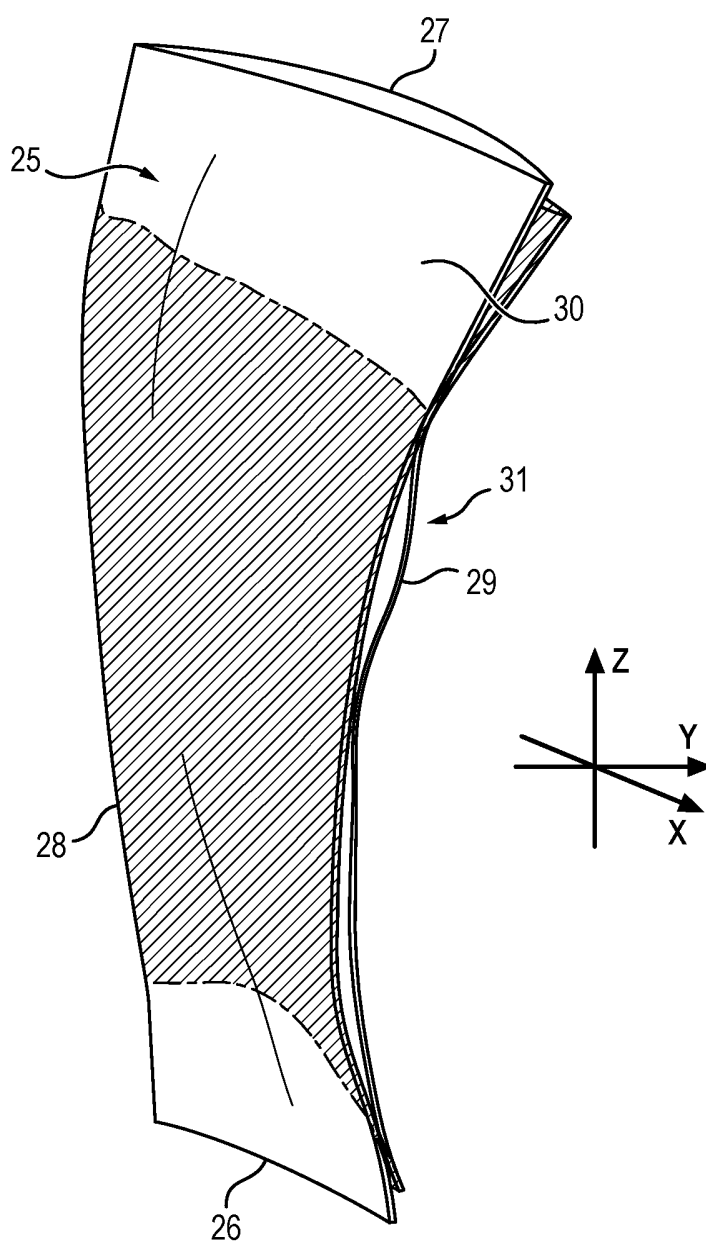
3/11

FIG. 3a



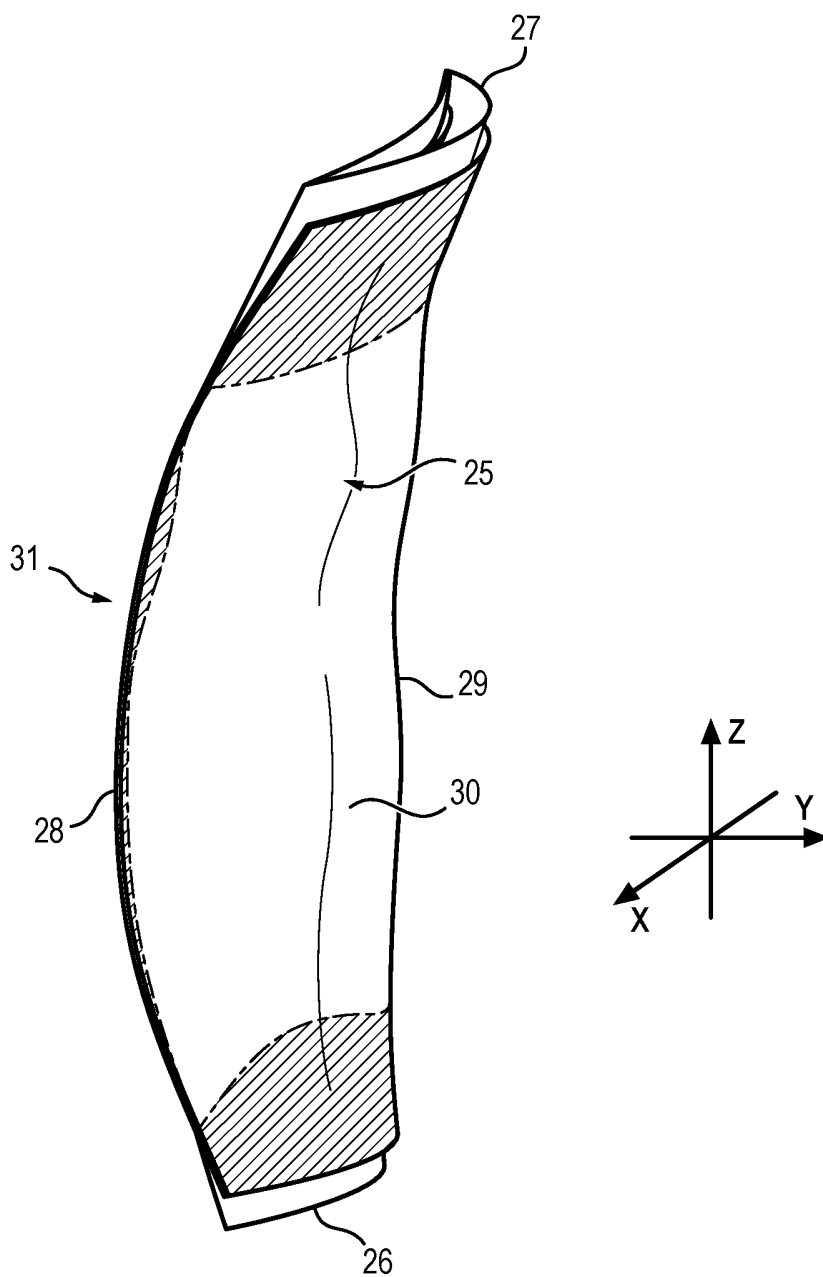
4/11

FIG. 3b



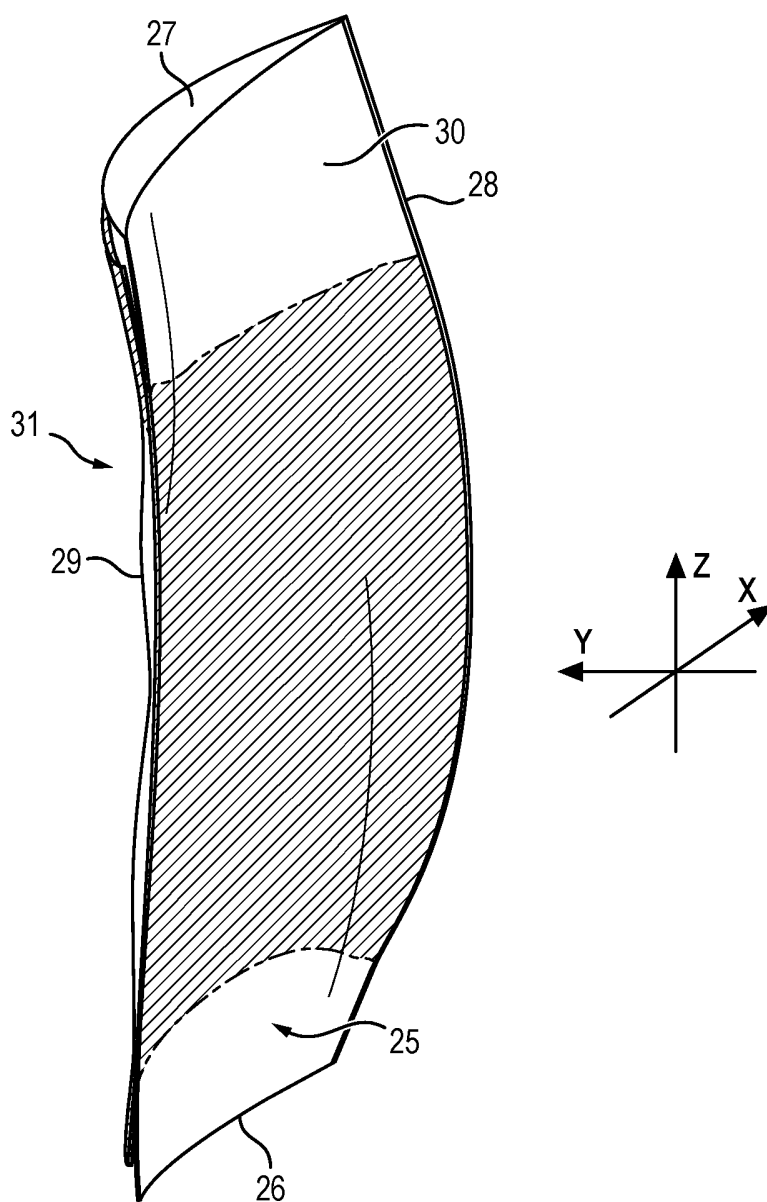
5/11

FIG. 3c



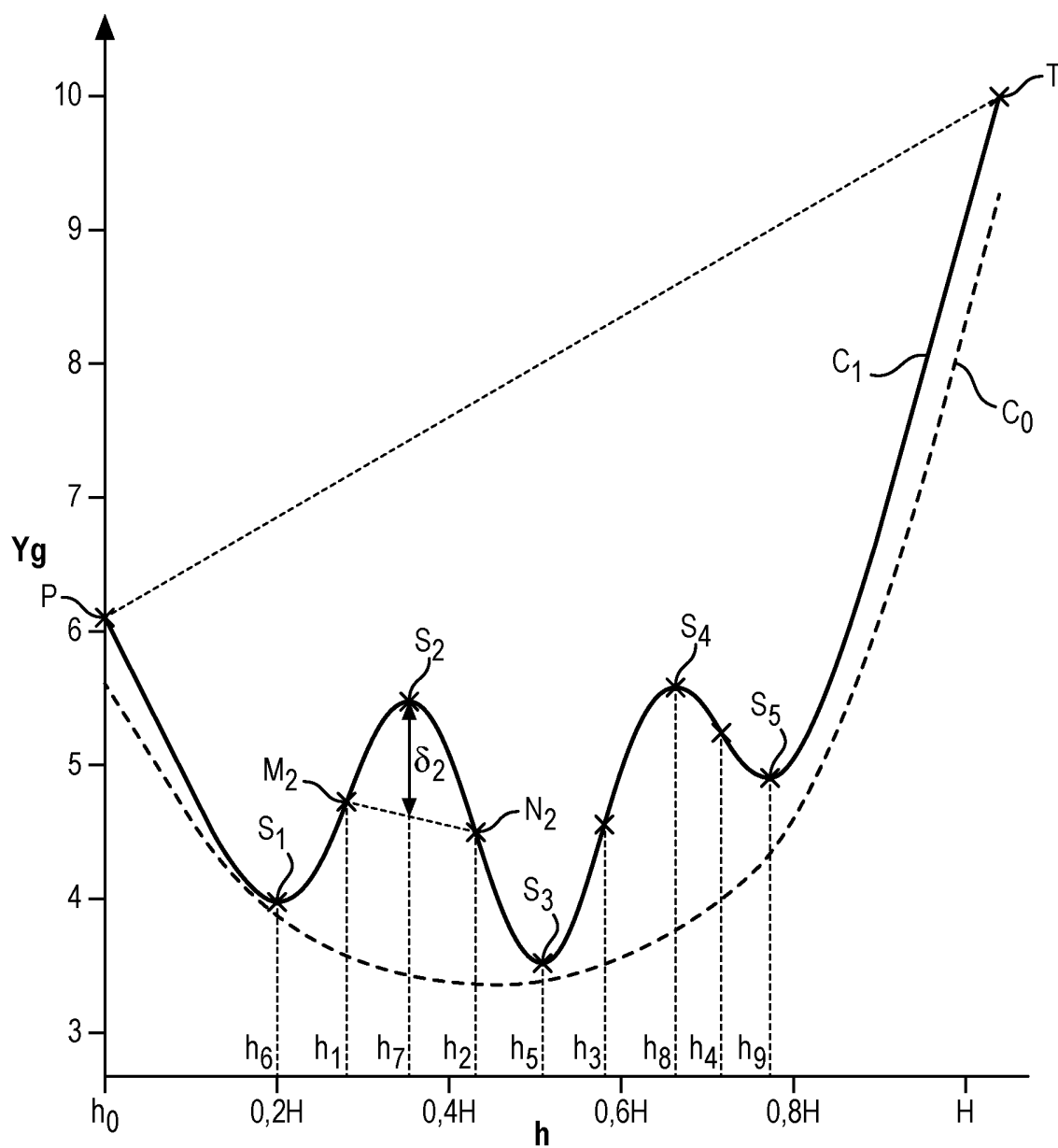
6/11

FIG. 3d



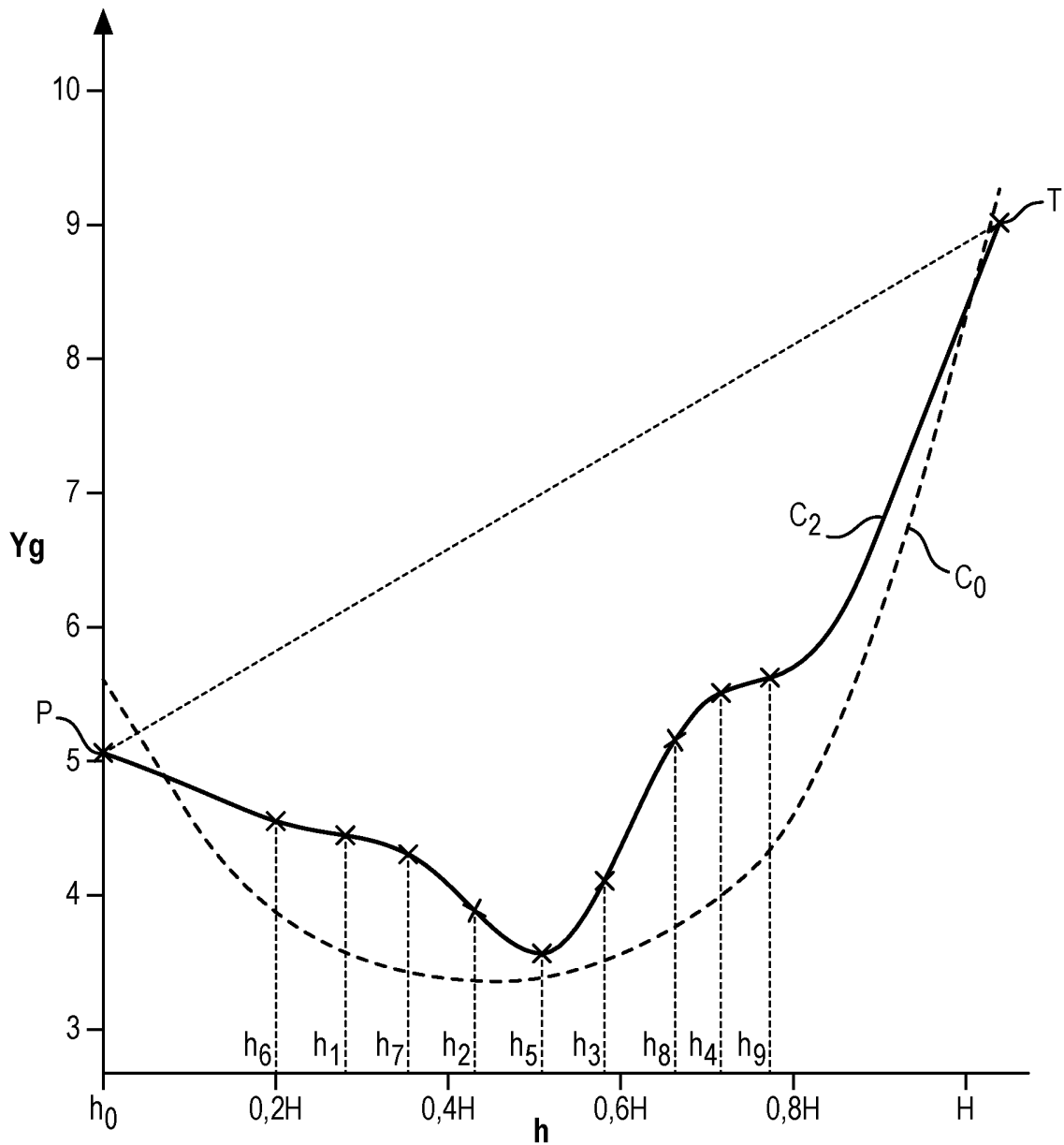
7/11

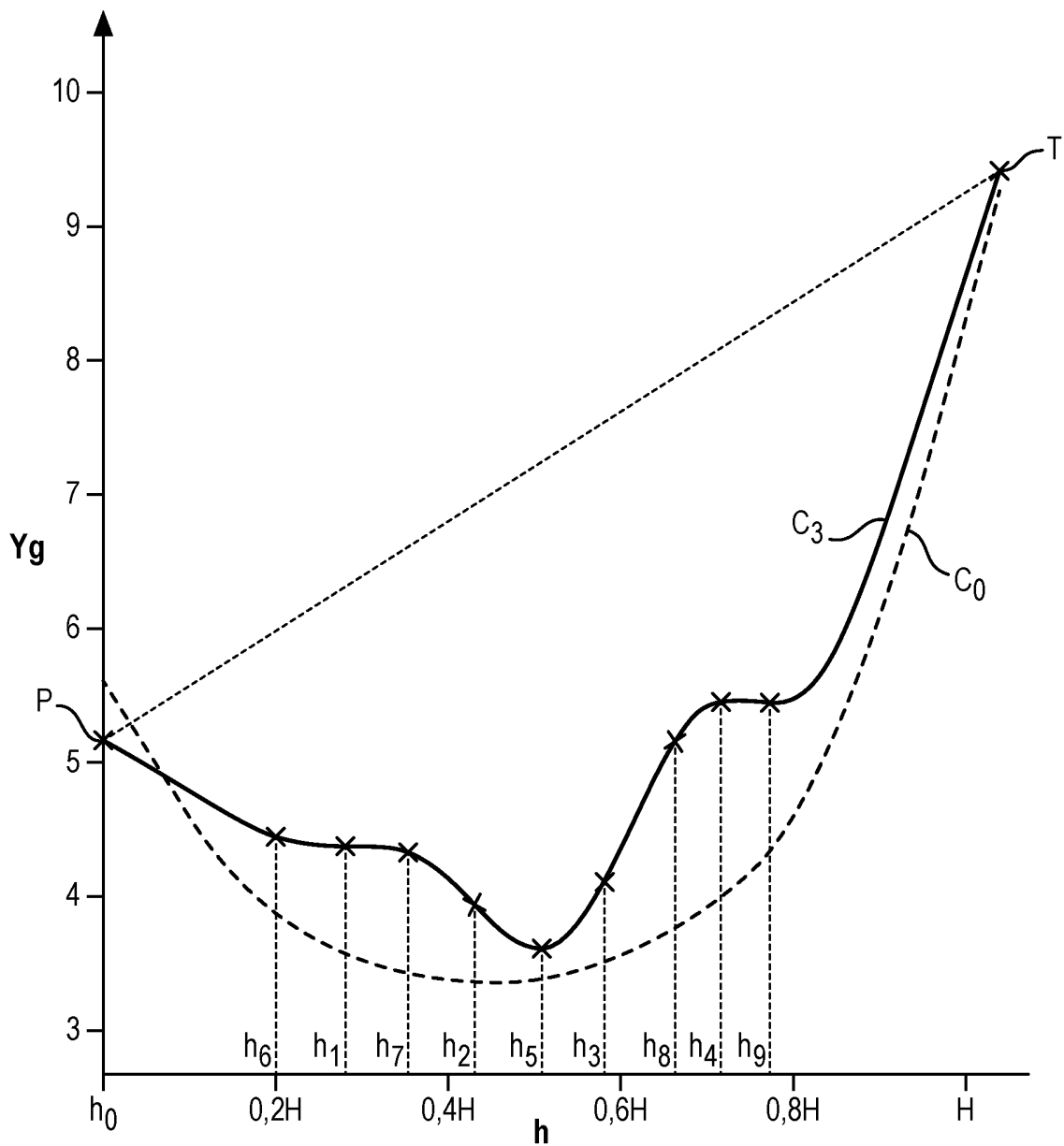
FIG. 4a



8/11

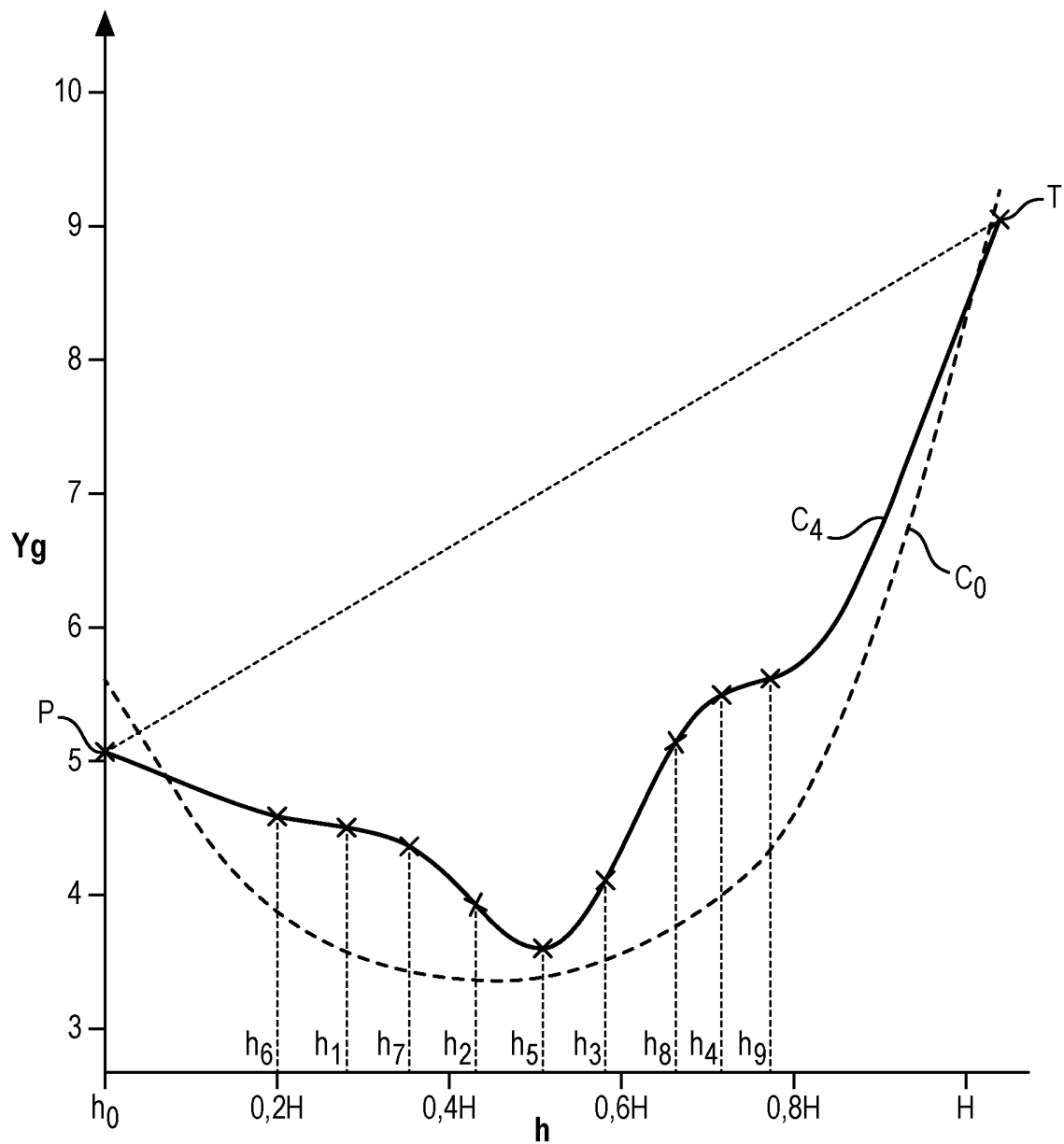
FIG. 4b



**9/11****FIG. 4c**

10/11

FIG. 4d



11/11

FIG. 5b

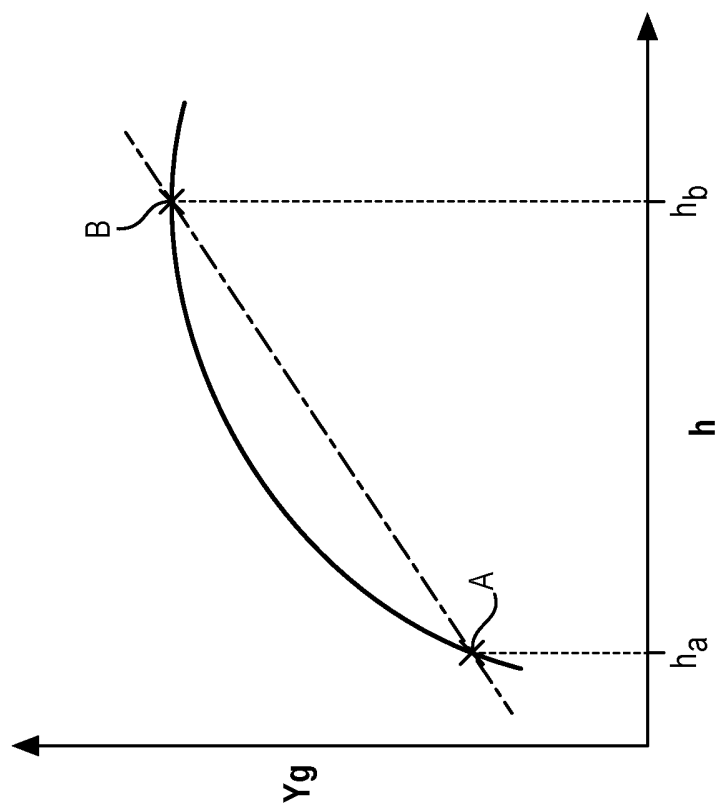
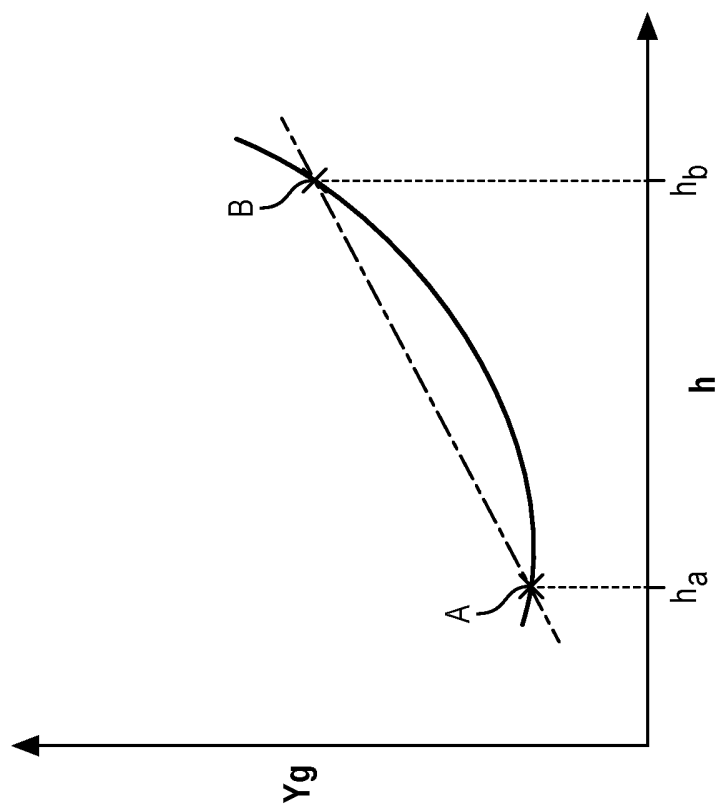


FIG. 5a



**RAPPORT DE RECHERCHE  
PRÉLIMINAIRE**

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

N° d'enregistrement  
national

FA 817024  
FR 1560771

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	US 2013/164488 A1 (WOOD TREVOR HOWARD [US] ET AL) 27 juin 2013 (2013-06-27) * alinéas [0022], [0028] - [0030]; figures *	1	F01D5/14 F01D5/16 F01D9/04
X	US 4 830 315 A (PRESZ JR WALTER M [US] ET AL) 16 mai 1989 (1989-05-16) * colonne 9, ligne 48 - ligne 61; figures *	1	
X	DE 10 2014 115402 A1 (GEN ELECTRIC [US]) 30 avril 2015 (2015-04-30) * figure 10 *	1	
X	DE 10 2006 043462 A1 (DEUTSCH ZENTR LUFT & RAUMFAHRT [DE]) 27 mars 2008 (2008-03-27) * figure 3 *	1	
X	EP 2 607 627 A1 (GEN ELECTRIC [US]) 26 juin 2013 (2013-06-26) * figure 2 *	1	
A,D	FR 2 981 396 A1 (SNECMA) 19 avril 2013 (2013-04-19) * le document en entier *	1-10	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) F01D
A	WO 2014/026246 A1 (ADELAIDE RES & INNOVATION PTY [AU]) 20 février 2014 (2014-02-20) * le document en entier *	1-10	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
22 juillet 2016		Teissier, Damien	
<p>CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS</p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons ..... &amp; : membre de la même famille, document correspondant</p>			

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1560771 FA 817024**

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 22-07-2016

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

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2013164488 A1	27-06-2013	CA 2859780 A1 CN 104114815 A EP 2800875 A1 JP 2015503694 A US 2013164488 A1 WO 2013130163 A1	06-09-2013 22-10-2014 12-11-2014 02-02-2015 27-06-2013 06-09-2013
US 4830315 A	16-05-1989	AUCUN	
DE 102014115402 A1	30-04-2015	CH 708780 A2 CN 104566456 A DE 102014115402 A1 JP 2015083916 A US 2015114003 A1	30-04-2015 29-04-2015 30-04-2015 30-04-2015 30-04-2015
DE 102006043462 A1	27-03-2008	AUCUN	
EP 2607627 A1	26-06-2013	BR 102012031677 A2 CA 2798821 A1 CN 103174676 A EP 2607627 A1 JP 2013130193 A US 2013156592 A1	20-01-2015 20-06-2013 26-06-2013 26-06-2013 04-07-2013 20-06-2013
FR 2981396 A1	19-04-2013	CA 2850901 A1 CN 103857880 A EP 2766577 A1 FR 2981396 A1 JP 2014528552 A RU 2014118768 A US 2014248144 A1 WO 2013054049 A1	18-04-2013 11-06-2014 20-08-2014 19-04-2013 27-10-2014 20-11-2015 04-09-2014 18-04-2013
WO 2014026246 A1	20-02-2014	AU 2013302323 A1 EP 2885206 A1 US 2015217851 A1 WO 2014026246 A1	02-04-2015 24-06-2015 06-08-2015 20-02-2014