



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

①① **N° de publication :** **3 055 698**  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)  
②① **N° d'enregistrement national :** **16 58343**  
⑤① Int Cl<sup>8</sup> : **G 01 B 21/20** (2017.01)

①②

## BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ **PROCÉDE DE CONTRÔLE DE LA CONFORMITÉ DU PROFIL D'UNE SURFACE COURBE D'UN ÉLÉMENT D'UNE TURBOMACHINE.**

②② **Date de dépôt :** 08.09.16.

③③ **Priorité :**

④③ **Date de mise à la disposition du public de la demande :** 09.03.18 Bulletin 18/10.

④⑤ **Date de la mise à disposition du public du brevet d'invention :** 17.08.18 Bulletin 18/33.

⑤⑥ **Liste des documents cités dans le rapport de recherche :**

*Se reporter à la fin du présent fascicule*

⑥⑥ **Références à d'autres documents nationaux apparentés :**

○ **Demande(s) d'extension :**

⑦① **Demandeur(s) :** SAFRAN AIRCRAFT ENGINES  
Société par actions simplifiée — FR.

⑦② **Inventeur(s) :** BEIGNON DOMINIQUE, MAURICE,  
GERARD et BERSON ANTOINE.

⑦③ **Titulaire(s) :** SAFRAN AIRCRAFT ENGINES Société  
par actions simplifiée.

⑦④ **Mandataire(s) :** REGIMBEAU.

FR 3 055 698 - B1



## **DOMAINE TECHNIQUE GÉNÉRAL**

La présente invention concerne un procédé de contrôle de la conformité du profil d'une section d'une surface courbe d'un élément d'une turbomachine, par exemple d'une section d'une aube d'une turbomachine pour un aéronef, afin de  
5 vérifier que la section de la surface courbe dudit élément est bien conforme aux critères de fabrication établis lors de la conception dudit élément.

La présente invention peut ainsi notamment concerner un procédé de contrôle de la conformité du profil rayonné d'un bord d'attaque et/ou d'un bord de fuite de l'aube afin de vérifier que la forme du bord d'attaque et/ou du bord  
10 de fuite de l'aube est bien conforme aux critères de fabrication établis lors de la conception de l'aube.

## **ETAT DE LA TECHNIQUE**

Lors de la fabrication d'une surface courbe d'un élément d'une turbomachine, il est connu de procéder au contrôle de la conformité du profil  
15 d'une section de la surface courbe afin de vérifier si l'élément est bien conforme aux critères de fabrication établis lors de la conception dudit élément.

Ainsi, lors de la fabrication d'une aube d'une turbomachine pour un aéronef, par exemple une aube d'une soufflante ou d'une aube de compresseur, une étape de contrôle de la conformité de cette aube est effectuée afin de  
20 vérifier si la forme de ladite aube est conforme aux critères de fabrication qui ont été établis lors de la conception de ladite aube.

Le bord d'attaque et le bord de fuite de l'aube, et particulièrement le bord d'attaque, sont des zones de l'aube dont la forme possède un impact important  
25 sur le comportement aérodynamique de ladite aube. Ainsi, il est important que le bord d'attaque et le bord de fuite de l'aube possèdent une forme conforme à la forme définie lors de la conception de ladite aube, afin que ladite aube possède les caractéristiques aérodynamiques désirées.

Selon un procédé connu illustré sur la figure 1, le contrôle de la conformité  
30 d'une aube 1 est réalisé en comparant l'aube 1 avec un profil d'aube maximum 11 et un profil d'aube minimum 12. Le profil maximum 11 correspond à

l'épaisseur maximum autorisée pour l'aube 1, et le profil minimum 12 correspond à l'épaisseur minimum autorisée pour ladite aube 1. Le profil maximum 11 et le profil minimum 12 sont établis en appliquant un seuil de tolérance à l'épaisseur de l'aube optimale établie lors de la conception de l'aube 1.

5           Toutefois, le procédé illustré sur la figure 1 permet de contrôler uniquement si l'épaisseur de l'aube 1 est bien comprise dans le seuil de tolérance défini par le profil maximum 11 et le profil minimum 12, et ne permet pas de détecter si le bord d'attaque ou le bord de fuite possède une forme rayonnée inacceptable, comme par exemple celles représentées sur la figure 2. Par  
10 exemple, le bord d'attaque, ou le bord de fuite de l'aube 1, peut avoir une forme inacceptable s'il est trop pointu tout en étant dans le seuil de tolérance acceptable.

Afin de contrôler le profil du bord d'attaque et le profil du bord de fuite de l'aube 1, un contrôle visuel par les opérateurs du contrôle qualité doit donc être  
15 effectué afin de comparer le profil du bord d'attaque et du bord de fuite avec des profils de formes inacceptables tels qu'illustrés sur les figures 2b à 2h, la figure 2a illustrant quant à elle le profil souhaité.

La figure 2b illustre un déport latéral de l'extrémité du bord d'attaque ou du bord de fuite. La figure 2c illustre un bord d'attaque ou un bord de fuite dont  
20 le profil est trop arrondi. La figure 2d illustre un bord d'attaque ou un bord de fuite comprenant des échancrures. La figure 2e illustre un bord d'attaque ou un bord de fuite comprenant un méplat. La figure 2f illustre un bord d'attaque ou un bord de fuite trop pointu car comprenant deux méplats formant une pointe. La figure 2g illustre un bord d'attaque ou un bord de fuite comprenant un léger  
25 méplat cumulé avec un léger déport latéral. Enfin la figure 2h illustre un bord d'attaque ou un bord de fuite trop mince.

Cependant, cette méthode de contrôle s'avère insuffisante pour apprécier correctement la conformité des aubes. Elle pose notamment des problèmes en termes de répétabilité et de reproductibilité.

30

## **PRÉSENTATION GÉNÉRALE DE L'INVENTION**

Un but général de l'invention est de proposer un procédé de contrôle du profil d'une section d'une surface courbe qui ne présente pas les inconvénients de l'art antérieur.

5 Un autre but de l'invention est de proposer un procédé de contrôle qui soit fiable, indépendant des moyens de mesure, et qui permette une appréciation quantitative, objective et complète de la conformité de la surface courbe, et notamment du rayon de courbure du bord d'attaque et/ou du bord de fuite d'une aube.

10 Plus particulièrement, selon un premier aspect, l'invention concerne un procédé de contrôle de la conformité d'un profil d'une section d'une surface courbe d'un élément d'une turbomachine comprenant l'étape suivante :

- acquérir des coordonnées de plusieurs points de mesure de la section de dans un référentiel défini pour ladite section ;

15 caractérisé en ce que le procédé comprend les étapes suivantes :

- calculer à partir des coordonnées de ces points de mesure le rayon de courbure de la section en chacun de ces points, de sorte à obtenir une courbe d'évolution mesurée du rayon de courbure suivant la position des points de mesure le long de ladite section ;

20 - comparer la courbe d'évolution mesurée du rayon de courbure obtenue à l'étape précédente avec une courbe d'évolution théorique du rayon de courbure de la section qui est prédéterminée ;

- évaluer la conformité de la section de la surface courbe à partir de la comparaison réalisée à l'étape précédente.

25

Une telle méthode permet d'une part de détecter facilement les défauts dans le profil de la section , et notamment dans le profil du bord d'attaque et/ou du bord de fuite de l'aube, les défauts apparaissant de manière plus nette en comparant la courbe d'évolution mesurée du rayon de courbure avec la courbe

30 d'évolution théorique.

Le procédé selon l'invention est avantageusement complété par les caractéristiques suivantes, prises seules ou en une quelconque de leurs combinaisons techniquement possibles :

- le calcul du rayon de courbure en un point de mesure est effectué en mesurant le rayon d'un cercle passant par ledit point de mesure et les deux points de mesure qui suivent ledit point de mesure le long de la section ;
- l'étape de comparaison de la courbe d'évolution mesurée avec la courbe d'évolution théorique comprend l'étape suivante :
  - repérer au moins un point singulier dans la courbe d'évolution mesurée du rayon de courbure correspondant à un extremum local de ladite courbe d'évolution mesurée ;
- l'étape de repérage d'au moins un point singulier comprend l'étape suivante :
  - discriminer les extremums locaux repérés en ne retenant comme point singulier uniquement un extremum dont la variation de la valeur du rayon de courbure par rapport aux extremums voisins est supérieure à un seuil prédéterminé ;
- le procédé comprend les étapes suivantes :
  - compter le nombre de points singuliers repérés ;
  - mesurer des paramètres de conformité en comparant les points singuliers à des points particuliers de la courbe d'évolution théorique du rayon de courbure, les paramètres mesurés et les points particuliers de la courbe d'évolution théorique dépendant du nombre de points singuliers compté à l'étape précédente ;
  - évaluer la conformité de la section en comparant les paramètres à des valeurs prédéterminées ;
- le procédé comprend les étapes suivantes :
  - mesurer, lorsqu'un unique point singulier est compté, la différence de rayon de courbure entre d'une part le point singulier et d'autre part un point particulier correspondant au minimum du rayon de courbure de la courbe d'évolution théorique du rayon de courbure ;
  - évaluer la conformité de la section en comparant la différence de rayon de courbure mesurée à l'étape précédente à un seuil de tolérance prédéterminé ;
- le procédé comprend l'étape suivante:

- établir, lorsqu'uniquement deux points singuliers sont comptés, la section en tant que non conforme ;
  - le procédé comprend les étapes suivantes :
    - mesurer, lorsqu'uniquement trois points singuliers sont comptés, la  
5 différence de rayon de courbure entre d'une part un point singulier parmi lesdits trois points singuliers ayant le rayon de courbure maximum, et d'autre part un point particulier correspondant au point de la courbe d'évolution théorique ayant la même position le long de la section que le point singulier ayant le rayon de courbure maximum ;
    - 10 - comparer cette différence de rayon de courbure avec une valeur seuil prédéterminée ;
      - mesurer, si la différence de rayon de courbure est inférieure à la valeur seuil, les paramètres suivants :
        - \* la distance le long de la section entre d'une part un point singulier  
15 parmi les trois points singuliers ayant le rayon de courbure minimum, et d'autre part un point particulier ayant le rayon de courbure minimum de la courbe d'évolution théorique ;
        - \* le signe de la différence de rayon de courbure entre d'une part le point singulier ayant le rayon de courbure minimum, et d'autre part le point  
20 particulier ayant le rayon de courbure minimum ;
        - \* la différence de rayon de courbure entre d'une part le point singulier ayant le rayon de courbure minimum, et d'autre part un point particulier correspondant au point de la courbe d'évolution théorique ayant la même position le long de la section que le point singulier ayant le rayon de courbure  
25 minimum ;
      - évaluer la conformité de la section en comparant la distance, la différence de rayon de courbure, et le signe de la différence de rayon de courbure mesurés à l'étape précédente à des seuils de tolérances prédéterminés.
      - mesurer, si la différence de rayon de courbure est supérieure à la  
30 valeur seuil, la distance le long de la section entre les deux points singuliers autres que le point singulier ayant le rayon de courbure maximum ;
      - évaluer la conformité de la section en comparant la distance mesurée à l'étape précédente, ainsi que la différence de rayon de courbure entre d'une part le point singulier ayant le rayon de courbure maximum et d'autre part

le point particulier de la courbe d'évolution théorique ayant la même position le long de la surface, à des seuils de tolérances prédéterminés ;

- le procédé comprend les étapes suivantes :

- détecter une inversion de courbure en déterminant un centre d'un cercle passant par trois points de mesure et si ledit centre du cercle est situé à l'extérieur de la section ;
- établir la section de l'aube en tant que non conforme si le centre du cercle est situé à l'extérieur de la section.

10 Selon un autre aspect, l'invention concerne également un procédé de contrôle de la conformité d'un profil d'un bord d'attaque et/ou d'un bord de fuite d'une aube d'une turbomachine comprenant l'étape suivante :

- mettre en œuvre le procédé de contrôle de la conformité du profil d'une section d'une surface courbe d'un élément selon le premier aspect, dans lequel l'élément est l'aube et ladite surface courbe comprend le bord d'attaque et/ou le bord de fuite de ladite aube, ledit procédé de contrôle étant mis en œuvre sur une pluralité de sections de ladite aube réparties le long de ladite aube.

## 20 **DESCRIPTIF DES FIGURES**

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 représente un procédé de contrôle du profil d'une section d'une aube selon l'état de la technique ;
- la figure 2a représente le profil souhaité pour le bord de fuite et le bord d'attaque d'une aube ;
- les figures 2b-2h représentent des profils de formes inacceptables pour le bord de fuite et le bord d'attaque d'une aube comparé avec le profil de la figure 2a ;
- la figure 3 représente les étapes principales d'un procédé de contrôle de la conformité d'un profil d'une section du bord d'attaque et/ou du bord de fuite d'une aube ;

- la figure 4 représente une méthode d'acquisition possible des coordonnées de points de mesure ;
  - la figure 5 représente une méthode possible pour le calcul du rayon de courbure de la zone contrôlée en chacun des points de mesure ;
- 5
- la figure 6 représente une courbe d'évolution mesurée du rayon de courbure de l'aube sur la zone contrôlée ;
  - la figure 7a représente la superposition du profil mesuré de la zone contrôlée d'une aube qui présente un défaut avec un profil théorique de ladite zone de l'aube telle que conçue ;
- 10
- la figure 7b représente la superposition de la courbe d'évolution mesurée du rayon de courbure de la zone correspondant au profil mesuré de la figure 7a, avec une courbe d'évolution théorique du rayon de courbure du profil théorique de la figure 7a ;
  - la figure 8a représente la superposition du profil mesuré de la zone
- 15
- contrôlée d'une aube qui présente un défaut avec le profil théorique de ladite zone de l'aube telle que conçue ;
  - la figure 8b représente la superposition de la courbe d'évolution mesurée du rayon de courbure de la zone correspondant au profil mesuré de la figure 8a, avec une courbe d'évolution théorique du rayon de courbure du profil théorique
- 20
- de la figure 8a ;
  - la figure 9a représente la superposition du profil mesuré de la zone contrôlée d'une aube qui présente un défaut avec le profil théorique de la zone de l'aube telle que conçue ;
  - la figure 9b représente la superposition de la courbe d'évolution mesurée
- 25
- du rayon de courbure de la zone correspondant au profil mesuré de la figure 9a, avec une courbe d'évolution théorique du rayon de courbure du profil théorique de la figure 9a ;
  - la figure 10 représente une variante possible des étapes de comparaison et d'évaluation du procédé de contrôle du profil d'une section d'une aube ;
- 30
- la figure 11a représente la superposition du profil mesuré de la zone contrôlée d'une aube qui présente un défaut avec un profil théorique de ladite zone de l'aube telle que conçue ;
  - la figure 11b représente la superposition de la courbe d'évolution mesurée du rayon de courbure de la zone correspondant au profil mesuré de la figure 11a,
- 35
- avec une courbe d'évolution théorique du rayon de courbure du profil théorique

de la figure 11a, les points singuliers de la courbe d'évolution mesurée étant repérés ;

- la figure 12 représente une variante possible de l'étape de repérage d'au moins un point singulier de la courbe d'évolution mesurée du rayon de courbure ;

5      • la figure 13 représente une variante possible de l'étape de mesure des paramètres de conformité et de l'étape d'évaluation de la conformité de la section de l'aube ;

10     • la figure 14a représente la superposition du profil mesuré de la zone contrôlée d'une aube qui présente un défaut avec le profil théorique de ladite zone de l'aube telle que conçue ;

- la figure 14b représente la superposition de la courbe d'évolution mesurée du rayon de courbure de la zone correspondant au profil mesuré de la figure 14a, avec une courbe d'évolution théorique du rayon de courbure du profil théorique de la figure 14a, le paramètre de conformité mesuré étant représenté ;

15     • la figure 15a représente la superposition du profil mesuré de la zone contrôlée d'une aube qui présente un défaut avec le profil théorique de ladite zone de l'aube telle que conçue ;

20     • la figure 15b représente la superposition de la courbe d'évolution mesurée du rayon de courbure de la zone correspondant au profil mesuré de la figure 15a, avec une courbe d'évolution théorique du rayon de courbure du profil théorique de la figure 15a, les paramètres de conformité mesurés étant représentés ;

- la figure 16a représente la superposition du profil mesuré de la zone contrôlée d'une aube qui présente un défaut avec le profil théorique de ladite zone de l'aube telle que conçue ;

25     • la figure 16b représente la superposition de la courbe d'évolution mesurée du rayon de courbure de la zone correspondant au profil mesuré de la figure 16a, avec une courbe d'évolution théorique du rayon de courbure du profil théorique de la figure 16a, les paramètres de conformité mesurés étant représentés ;

30     • la figure 17 représente une méthode possible de détection d'inversion du rayon de courbure de la zone de la section de l'aube contrôlée ;

35     • la figure 18 représente une aube et les différentes lignes des sections sur lesquelles le procédé de contrôle de la conformité du profil du bord d'attaque et/ou du bord de fuite au niveau desdites sections peut être mis en œuvre afin de contrôler la conformité du profil du bord d'attaque et/ou du bord de fuite de ladite aube.

## **DESCRIPTION D'UN OU PLUSIEURS EXEMPLES DE MODE DE REALISATION**

On a représenté sur la figure 3 un procédé de contrôle de la conformité d'un profil d'une section du bord d'attaque et/ou du bord de fuite d'une aube 2  
5 d'une turbomachine.

Le procédé de contrôle comprend les étapes suivantes :

- étape 100 : acquérir des coordonnées de plusieurs points de mesure de la section d'un bord d'attaque et/ou d'un bord de fuite de l'aube 2 dans un  
10 référentiel défini pour ladite section ;
- étape 200 : calculer à partir des coordonnées de ces points de mesure P le rayon de courbure de l'aube 2 en chacun de ces points, de sorte à obtenir une courbe d'évolution mesurée  $C_m$  du rayon de courbure suivant la position des points de mesure P le long de la section du bord d'attaque et/ou du bord de  
15 fuite ;
- étape 300 : comparer la courbe d'évolution mesurée  $C_m$  du rayon de courbure obtenue à l'étape de calcul 200 avec une courbe d'évolution théorique  $C_t$  du rayon de courbure de la section de l'aube 2 prédéterminée ;
- étape 400 : évaluer la conformité de la section de l'aube 2 à partir de la  
20 comparaison réalisée à l'étape de comparaison 300.

On a représenté sur la figure 4 un exemple de méthode d'acquisition possible des coordonnées de points de mesure qui peut être utilisé pour mettre en œuvre l'étape 100 du procédé de contrôle.

25 Sur la figure 4, est représentée une section d'une aube 2 normale à l'axe d'empilage de ladite aube 2.

La section de l'aube 2 est définie notamment par :

- un point de bord d'attaque 21 ;
- un point de bord de fuite (non représenté sur la figure 4) ;
- 30 - un angle  $\alpha_1$  qui définit, par rapport à la perpendiculaire à la corde, la direction d'une tangente D1 au point de bord d'attaque 21 ;
- une valeur  $e_1$  de l'épaisseur de l'aube 2 à une distance théorique prédéterminée de la tangente D1 au point de bord d'attaque 21, cette distance étant par exemple de l'ordre de 3 à 5 mm.

La corde est une droite caractéristique de l'aube 2 qui est définie en tant que la droite qui relie le point de bord d'attaque 21 au point de bord de fuite.

5 Un référentiel est défini localement pour la section de l'aube 2 afin de pouvoir mesurer les coordonnées des points de mesure P dans ce référentiel propre à cette section de l'aube 2.

Ce référentiel local est, dans l'exemple illustré sur la figure 4, un premier repère cartésien défini de la manière suivante :

- 10 - un premier point d'origine des axes O1 se trouve sur le côté intrados de l'aube 2, à une distance A de la droite D1 donnée pour l'épaisseur e1 dans la définition technique de l'aube 2 (A étant égal à 3 mm dans l'exemple illustré sur la figure 4) ;
- un premier axe d'abscisse X1 correspond à l'axe passant par le premier point d'origine des axes O1 et qui est tangent à l'aube 2 au niveau de ce premier point d'origine des axes O1 ;
- 15 - un premier axe d'ordonnée Y1 est l'axe passant par le premier point d'origine des axes O1 et qui est perpendiculaire au premier axe d'abscisse X1.

20 Par la suite, afin de ne contrôler que la zone de l'intrados et de l'extrados de l'aube 2 qui est proche du point de bord d'attaque 21, un changement de repère est effectué afin de recentrer la mesure des coordonnées de points de mesure P sur le point de bord d'attaque 21.

Pour faire ce changement de repère, un second repère cartésien est défini, le second repère cartésien comprenant :

- 25 - un second point d'origine des axes O2 est défini sur la surface d'intrados de l'aube 2, à une distance B de la droite D1 inférieure à la distance e1 (B étant égale à 0,5 mm dans l'exemple de la figure 4). La distance B entre le second point d'origine des axes O2 et la droite D1 est adaptée en fonction du profil de l'aube 2 et est choisie de sorte à couvrir les portions de l'intrados et de l'extrados
- 30 de ladite aube 2 sur lesquelles la variation de la courbure de l'aube est la plus importante.
- un second axe d'abscisse X2 qui correspond à l'axe passant par le second point d'origine des axes O2 et qui est parallèle au premier axe d'abscisse X1 ;
- un second axe d'ordonnée Y2 qui est l'axe passant par le second point
- 35 d'origine des axes O2 et qui est parallèle au premier axe d'ordonnée Y1.

La portion de la section de l'aube 2 qui est contrôlée par le procédé de contrôle est la zone Z de la section de l'aube 2 qui, partant est située jusqu'à au plus la distance B du bord d'attaque 21 (la distance B étant égale à 0,5 mm dans l'exemple de la figure 4).

Un échantillonnage est ensuite réalisé sur la zone Z de la section de l'aube 2 pour obtenir les différents points de mesure P: ceux-ci sont par exemple choisis comme étant les points d'intersection avec la courbe d'intrados et la courbe d'extrados de différentes parallèles à la droite D1, espacées les unes par rapport aux autres d'un pas d'échantillonnage donné (0,05 mm par exemple).

Les coordonnées de ces différents points de mesure P peuvent être obtenues de différentes façons : palpage mécanique, mesure optique, etc.

L'exemple donné à la figure 4 est utilisé au niveau du bord d'attaque 21 de ladite aube 2. Toutefois, l'exemple illustré à la figure 4 peut être aisément être transposé afin d'être utilisé pour acquérir des coordonnées de points de mesure sur un bord de fuite de l'aube 2.

On a représenté sur la figure 5 un exemple de méthode possible pour le calcul du rayon de courbure de la zone Z contrôlée en chacun des points de mesure P, afin de mettre en œuvre l'étape 200 du procédé de contrôle.

Ainsi, comme illustré sur la figure 5, les points de mesure P sont répartis le long de la zone Z du point P1 (extrémité intrados) au point Pn (extrémité extrados).

Pour chaque triplet de points de mesure ( $P_i, P_{i+1}, P_{i+2}$ ), pour i allant de 1 à n-2, le cercle  $C_i$  passant par les trois points de mesure  $P_i, P_{i+1}$ , et  $P_{i+2}$  est déterminé.

Le rayon de courbure au point  $P_i$  est calculé en mesurant le rayon  $R_i$  du cercle  $C_i$  passant par les trois points  $P_i, P_{i+1}$ , et  $P_{i+2}$ .

Ainsi, en déplaçant le cercle  $C_i$  le long de la zone Z, le rayon de courbure de l'aube 2 en chacun des points de mesure P est calculé.

Le calcul du rayon de courbure de l'aube 2 en chacun des points de mesure P permet d'obtenir une courbe d'évolution mesurée  $C_m$  du rayon de courbure de l'aube 2 sur la zone Z, comme représenté sur la figure 6.

5 La courbe d'évolution mesurée  $C_m$  possède en ordonnée le rayon de courbure en chacun des points de mesure P, et en abscisse la position des points de mesure P le long de la zone Z suivant une abscisse curviligne.

10 Comme illustré sur les figures 7a, 7b, 8a, 8b et 9a, 9b, les différents types de défauts que peut posséder la zone Z sont visibles de manière différentes sur la courbe d'évolution mesurée  $C_m$ .

La figure 7a représente la superposition du profil mesuré  $3_m$  de la zone Z d'une aube 2 qui présente un défaut avec un profil théorique  $3_t$  de la zone Z de l'aube 2 telle que conçue. Comme visible sur la figure 7a, l'aube 2 est trop pointu au niveau du point de bord d'attaque 21.

15 La figure 7b représente la superposition de la courbe d'évolution mesurée  $C_m$  de la zone Z correspondant au profil mesuré  $3_m$  de la figure 7a, avec une courbe d'évolution théorique  $C_t$  du rayon de courbure du profil théorique  $3_t$  de la figure 7a. Comme visible sur la figure 7b, la courbe d'évolution mesurée  $C_m$  possède une forme de U dans ce cas.

20

La figure 8a représente la superposition du profil mesuré  $3_m$  de la zone Z d'une aube 2 qui présente un défaut avec le profil théorique  $3_t$  de la zone Z de l'aube 2 telle que conçue. Comme visible sur la figure 8a, l'aube 2 possède un point de bord d'attaque 21 déporté par rapport au point de bord d'attaque théorique.

25

La figure 8b représente la superposition de la courbe d'évolution mesurée  $C_m$  de la zone Z correspondant au profil mesuré  $3_m$  de la figure 8a, avec une courbe d'évolution théorique  $C_t$  du rayon de courbure du profil théorique  $3_t$  de la figure 8a. Comme visible sur la figure 8b, la courbe d'évolution mesurée  $C_m$  possède une forme de W dans ce cas.

30

La figure 9a représente la superposition du profil mesuré  $3_m$  de la zone Z d'une aube 2 qui présente un défaut avec le profil théorique  $3_t$  de la zone Z de l'aube 2 telle que conçue. Comme visible sur la figure 9a, la zone Z de l'aube 2 possède une portion aplaniée par rapport au profil théorique  $3_t$ .

35

La figure 9b représente la superposition de la courbe d'évolution mesurée  $C_m$  de la zone Z correspondant au profil mesuré 3m de la figure 9a, avec une courbe d'évolution théorique  $C_t$  du rayon de courbure du profil théorique 3t de la figure 9a. Comme visible sur la figure 9b, la courbe d'évolution mesurée  $C_m$  possède soit une forme de W, soit une forme en double U lorsque la zone Z est trop plane. Selon une variante possible, la valeur seuil de rayon de courbure est de 2 mm pour qu'il soit considéré que le profil mesuré 3m comprenne un méplat, et donc que ledit profil mesuré soit en forme de double U.

10 Comme visible sur les figures 7a, 7b, 8a, 8b et 9a, 9b, la courbe d'évolution théorique  $C_t$  du rayon de courbure de la zone Z possède toujours un profil en U.

15 Le procédé de contrôle propose de déterminer le type de défaut que possède la zone Z de l'aube 2 à mesurer afin de pouvoir mesurer les paramètres pertinents pour l'évaluation de la conformité de l'aube 2 suivant le défaut dans le profil de la zone Z. En effet, si le défaut est mineur, l'aube 2 peut être tout de même conforme car ladite aube 2 possède les caractéristiques aérodynamiques nécessaires au bon fonctionnement de la turbomachine.

20 Pour ce faire, afin de distinguer les différents profils de courbe d'évolution mesurée  $C_m$  du rayon de courbure (U, W, ou double U), l'étape 300 de comparaison possède l'étape suivante, comme illustré sur les figures 10, 11a et 11b :

- étape 310 : repérer au moins un point singulier  $P_s$  dans la courbe d'évolution mesurée  $C_m$  du rayon de courbure. Un point singulier  $P_s$  est un point de mesure P qui correspond à un extremum local de la courbe d'évolution mesurée  $C_m$ .

30 Les extremums locaux parmi les points de mesure P peuvent par exemple être repérés par détection des points de mesure P dont la dérivée de la courbe d'évolution mesurée  $C_m$  en ces points est nulle.

De plus, l'étape 310 de repérage des points singuliers  $P_s$  peut comprendre l'étape suivante, comme illustré sur la figure 12 :

35 - étape 311 : discriminer les extremums locaux repérés en ne retenant comme point singulier  $P_s$  qu'un extremum dont la variation de la valeur du

rayon courbure par rapport aux extremums voisins est supérieure à un seuil prédéterminé.

Une telle étape de discrimination des extremums permet de ne pas retenir comme point singulier les ondulations que peut posséder le profil de la zone Z de la section de l'aube 2, et de retenir uniquement comme point(s) singulier(s) Ps le(s) point(s) de mesure P représentant de véritable(s) maximum et/ou minimum au vue de la forme générale de la courbe d'évolution mesurée Cm.

L'étape 300 de comparaison possède également l'étape suivante, comme illustré sur la figure 10 :

- étape 320 : compter le nombre de points singuliers repérés à l'étape 310.

Une telle étape permet de déterminer le type de défaut que possède le profil de la zone Z de l'aube Z parmi les différents défauts possibles.

Ainsi, pour un profil en U, la courbe d'évolution mesurée Cm du rayon de courbure de la zone Z comprend un unique minimum formant un unique point singulier Ps.

Pour un profil en W, la courbe d'évolution mesurée Cm comprend uniquement deux minimums et un maximum, formant ainsi uniquement trois points singuliers Ps. Deux des points singuliers Ps correspondent chacun à un minimum, et le point singulier Ps restant qui est situé entre les deux autres points singuliers Ps correspond au maximum.

Pour un profil en double U, la courbe d'évolution mesurée Cm comprend uniquement deux minimums, formant ainsi deux uniques points singuliers Ps, chaque point singulier PS correspondant à un minimum.

Le fait de savoir le nombre de points singuliers, et donc le type de défaut que présente le profil de la zone Z de l'aube 2, permet de déterminer quels sont les paramètres pertinents à mesurer en comparant la courbe d'évolution mesurée Cm avec la courbe d'évolution théorique Ct afin d'estimer l'importance du défaut.

Ainsi, comme illustré sur la figure 10, l'étape 300 de comparaison possède également l'étape suivante :

- étape 330 : mesurer des paramètres de conformité en comparant les points singuliers Ps de la courbe d'évolution Cm à des points particuliers Pp de la courbe d'évolution théorique Ct du rayon de courbure du profil de la zone Z, les

paramètres mesurés et les points particuliers Pp de la courbe d'évolution théoriques Ct dépendant du nombre de points singuliers Ps compté à l'étape 320 de comptage.

5 Comme illustré sur la figure 10, l'étape 400 d'évaluation de la conformité de la section de l'aube 2 comprend l'étape suivante :

- étape 410 : évaluer la conformité de la section de l'aube 2 en comparant les paramètres mesurés à l'étape 330 à des valeurs prédéterminées.

10 Cette étape 410 d'évaluation de la conformité de la section de l'aube permet de conclure si le bord d'attaque et/ou le bord de fuite de la section de l'aube 2 contrôlée présente un profil convenable par rapport au profil théorique établi lors de la conception de l'aube 2.

Les valeurs prédéterminées dépendent des paramètres mesurés lors de l'étape 330 de mesure, ainsi que de la tolérance donnée au profil de l'aube 2.

15

Comme illustré sur les figures 13, 14a, 14b, 15a, 15b, et 16a, 16b, l'étape 330 de mesure des paramètres de conformité peut comprend les étapes suivantes :

20 - étape 331 : mesurer, lorsqu'un unique point singulier Ps est compté, la différence de rayon de courbure S1 entre d'une part le point singulier Ps et d'autre part un point particulier Pp correspondant au minimum du rayon de courbure de la courbe d'évolution théorique Ct du rayon de courbure de la zone Z ;

25 - étape 333a : mesurer, lorsqu'uniquement trois points singuliers Ps sont comptés, la différence de rayon de courbure A3 entre d'une part un point singulier Ps parmi lesdits trois points singuliers Ps ayant le rayon de courbure maximum, et d'autre part un point particulier Pp correspondant au point de la courbe d'évolution théorique Ct ayant la même position le long de la section que le point singulier Ps ayant le rayon de courbure maximum ;

30 - étape 333b : comparer cette différence de rayon de courbure A3 avec une valeur seuil prédéterminée ;

- étape 333c : mesurer, si la différence de rayon de courbure A3 est inférieure ou égale à la valeur seuil, les paramètres suivants :

35 \* la distance L2 le long de la section entre d'une part un point singulier Ps parmi les trois points singuliers Ps ayant le rayon de courbure minimum, et

d'autre part un point particulier Pp ayant le rayon de courbure minimum de la courbe d'évolution théorique Ct ;

\* le signe de la différence de rayon de courbure Dr entre d'une part le point singulier Ps ayant le rayon de courbure minimum, et d'autre part le point particulier Pp ayant le rayon de courbure minimum ;

\* la différence de rayon de courbure A2 entre d'une part le point singulier Ps ayant le rayon de courbure minimum, et d'autre part un point particulier Pp correspondant au point de la courbe d'évolution théorique ayant la même position le long de la section que le point singulier Ps ayant le rayon de courbure minimum ;

- étape 333d : mesurer, si la différence de rayon de courbure A3 est supérieure à la valeur seuil, la distance L3 le long de la section entre les deux points singuliers Ps autres que le point singulier Ps ayant le rayon de courbure maximum.

Les figures 14a et 14b illustrent la manière dont peut être mise en œuvre l'étape 331 de mesure de la différence de rayon de courbure S1 en comparant la courbe d'évolution mesurée Cm et la courbe d'évolution théorique Ct.

Les figures 15a et 15b illustrent la manière dont peuvent être mises en œuvre les étapes 333a et 333c de mesure de la différence de rayon de courbure A3, de la distance L2, du signe de la différence de rayon de courbure Dr, et de la différence de rayon de courbure A2.

La différence de rayon de courbure Dr est positive si le rayon de courbure du point singulier Ps ayant le rayon de courbure minimum est supérieur au rayon de courbure du point particulier Pp ayant le rayon de courbure minimum de la courbe d'évolution théorique Ct.

Les figures 16a et 16b illustrent la manière dont peuvent être mises en œuvre les étapes 333a et 333d de mesure de la différence de rayon de courbure A3, et de la distance L3.

L'étape 410 d'évaluation de la conformité de la section du bord d'attaque et/ou du bord de fuite de l'aube 2 comprend les étapes suivantes :

- étape 411 : évaluer la conformité de la section l'aube 2, lorsqu'un unique point singulier Ps est compté, en comparant la différence de rayon de courbure

S1 mesurée à l'étape 331 à un seuil de tolérance prédéterminé. Le seuil de tolérance pour la différence de rayon de courbure S1 est par exemple de 0,1mm.

5 - étape 413a : évaluer la conformité de la section l'aube 2, lorsqu'uniquement trois points singuliers sont comptés et que la différence de rayon de courbure A3 est inférieure ou égale à la valeur seuil, en comparant la distance L2, la différence de rayon de courbure A2, et le signe de la différence de rayon de courbure Dr mesurées à l'étape 333c à des seuils de tolérances prédéterminés. Le seuil de tolérance pour la différence de rayon de courbure A2 est par exemple de 0,3 mm. Le seuil de tolérance pour la longueur L2 est par exemple de 0,5mm. Le seuil de tolérance pour le signe de la différence de rayon de courbure Dr est que la différence de rayon de courbure Dr est négative (cas illustré sur les figures 15a et 15b).

10 - étape 413b : évaluer la conformité de la section l'aube 2, lorsqu'uniquement trois points singuliers sont comptés et que la différence de rayon de courbure A3 est supérieure à la valeur seuil, en comparant la distance L3 et la différence de rayon de courbure A3 mesurées à l'étape 333d à des seuils de tolérances prédéterminés. Le seuil de tolérance pour la différence de rayon de courbure A3 est par exemple de 2 mm. Le seuil de tolérance pour la longueur L3 est par exemple de 0,15mm.

20

Les valeurs des seuils de tolérance sont amenées à varier suivant les dimensions des aubes à contrôler.

Par ailleurs, comme visible sur la figure 13, lorsqu'uniquement deux points singuliers Ps sont comptés lors de l'étape 310 de comptage des points singuliers Ps de la courbe d'évolution mesurée Cm, le profil de la zone Z de la section de l'aube 2 est directement considéré comme non conforme ladite zone Z dans une étape 412 d'établissement d'une non-conformité.

25 En effet, la section Z possède un méplat trop important si uniquement 2 points singuliers Ps sont comptés.

30

Selon une variante préférentielle illustrée sur la figure 17, le procédé de contrôle de la conformité du profil de la section du bord d'attaque et/ou du bord de fuite de l'aube 2 comprend les étapes suivantes afin de détecter une inversion de courbure dans ladite section :

- étape 510 : détecter une inversion de courbure en déterminant un centre  $\Psi$  d'un cercle  $\Omega$  passant par trois points de mesure  $P$  et si ledit centre  $\Psi$  du cercle  $\Omega$  est situé à l'extérieur de la section de l'aube 2 ;

- étape 520 : établir la section de l'aube 2 en tant que non conforme si le  
5 centre  $\Psi$  du cercle  $\Omega$  est situé à l'extérieur de la section de ladite aube 2.

Ainsi, sur l'exemple illustré sur la figure 17 le profil de la section du bord d'attaque de l'aube 2 comprend une inversion de courbure, le centre  $\Psi$  du cercle  $\Omega$  étant situé à l'extérieur de la section de l'aube 2.

Afin de vérifier l'absence d'inversion de courbure sur la zone  $Z$  de la  
10 section de l'aube 2, le cercle  $\Omega$  et son centre  $\Psi$  sont déplacés le long de ladite zone  $Z$  par triplet de points de mesure ( $P_i, P_{i+1}, P_{i+2}$ ) en incrémentant  $i$ .

Selon une mise en œuvre possible du procédé de la conformité du profil de la section de l'aube 2, ladite section est considérée comme non conforme si un  
15 des paramètres de conformité mesurés dans l'étape 330 n'est pas conforme à son seuil de tolérance, par exemple en étant supérieure à la valeur maximum, inférieure à la valeur minimum, si la longueur est trop importante, ou si le signe de la différence de rayon de courbure est différent du signe prédéterminé.

L'invention propose également un procédé de contrôle de la conformité du  
20 profil du bord d'attaque et/ou du bord de fuite de l'aube 2 sur tout le long de ladite aube 2, ou sur une portion uniquement.

Pour ce faire, comme illustré à la figure 18, le procédé de contrôle de la  
25 conformité d'une section de l'aube 2 telle que décrit précédemment est effectué sur différentes sections  $S_c$  réparties le long de la hauteur de ladite aube 2.

Selon une mise en œuvre possible du procédé de la conformité du profil du  
bord d'attaque et/ou du bord de fuite de l'aube 2, ledit profil est considéré  
comme non conforme si le procédé de contrôle de la conformité de du profil  
d'une section de l'aube 2 a conclu à la non-conformité d'une section de ladite  
30 aube 2. Le profil du bord d'attaque et/ou du bord de fuite de l'aube 2 est considéré comme conforme si aucun profil d'une section de l'aube 2 n'a été considéré comme non conforme.

Les exemples donnés précédemment de réalisation du procédé de contrôle  
35 de la conformité du profil d'une section d'une surface courbe d'un élément d'une

turbomachine sont relatifs aux cas où l'élément est une aube de turbomachine et la surface courbe est le bord d'attaque et/ou le bord de fuite de ladite aube. Toutefois, le procédé de contrôle de la conformité du profil de la section de la surface courbe de l'élément de la turbomachine peut s'appliquer à d'autres

5 éléments qu'une aube ou un redresseur (aubage fixe) dont la forme adaptée pour être aérodynamique impacte les performances de la turbomachine.

## **REVENDEICATIONS**

1. Procédé de contrôle de la conformité d'un profil d'une section d'une surface courbe d'un élément d'une turbomachine comprenant les étapes suivantes :

- (100) acquérir des coordonnées de plusieurs points de mesure (P) de la section dans un référentiel défini pour ladite section ;

caractérisé en ce que le procédé comprend les étapes suivantes :

- (200) calculer à partir des coordonnées de ces points de mesure (P) le rayon de courbure de la section en chacun de ces points, de sorte à obtenir une courbe d'évolution mesurée ( $C_m$ ) du rayon de courbure suivant la position des points de mesure (P) le long de ladite section ;

- (300) comparer la courbe d'évolution mesurée ( $C_m$ ) du rayon de courbure obtenue à l'étape (200) précédente avec une courbe d'évolution théorique ( $C_t$ ) du rayon de courbure de la section qui est prédéterminée ;

- (400) évaluer la conformité de la section de la surface courbe à partir de la comparaison réalisée à l'étape (300) précédente.

2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel le calcul du rayon de courbure en un point de mesure ( $P_i$ ) est effectué en mesurant le rayon d'un cercle passant par ledit point de mesure ( $P_i$ ) et les deux points de mesure ( $P_{i+1}$ ,  $P_{i+2}$ ) qui suivent ledit point de mesure ( $P_i$ ) le long de la section.

3. Procédé selon la revendication 1 ou la revendication 2, dans lequel l'étape (300) de comparaison de la courbe d'évolution mesurée ( $C_m$ ) avec la courbe d'évolution théorique ( $C_t$ ) comprend l'étape suivante :

- (310) repérer au moins un point singulier ( $P_s$ ) dans la courbe d'évolution mesurée ( $C_m$ ) du rayon de courbure correspondant à un extremum local de ladite courbe d'évolution mesurée ( $C_m$ ).

4. Procédé selon la revendication 3, dans lequel l'étape de repérage (310) d'au moins un point singulier ( $P_s$ ) comprend l'étape suivante :

- (311) discriminer les extremums locaux repérés en ne retenant comme point singulier ( $P_s$ ) uniquement un extremum dont la variation de la valeur du

rayon courbure par rapport aux extremums voisins est supérieure à un seuil prédéterminé.

- 5 Procédé selon la revendication 3 ou la revendication 4, dans lequel  
5 ledit procédé comprend les étapes suivantes :
- (320) compter le nombre de points singuliers (Ps) repérés ;
  - (330) mesurer des paramètres de conformité en comparant les points  
singuliers (Ps) à des points particuliers (Pp) de la courbe d'évolution théorique  
(Ct) du rayon de courbure, les paramètres mesurés et les points particuliers (Pp)  
10 de la courbe d'évolution théorique (Ct) dépendant du nombre de points singuliers  
(Ps) compté à l'étape (320) précédente ;
  - (410) évaluer la conformité de la section de la surface courbe en  
comparant les paramètres à des valeurs prédéterminées.

- 15 Procédé selon la revendication 5, dans lequel ledit procédé  
comprend les étapes suivantes :
- (331) mesurer, lorsqu'un unique point singulier (Ps) est compté, une  
différence de rayon de courbure (S1) entre d'une part le point singulier (Ps) et  
d'autre part un point particulier (Pp) correspondant au minimum du rayon de  
20 courbure de la courbe d'évolution théorique (Ct) du rayon de courbure ;
  - (411) évaluer la conformité de la section de la surface courbe en  
comparant la différence de rayon de courbure mesurée à l'étape précédente  
(331) à un seuil de tolérance prédéterminé.

- 25 Procédé selon la revendication 5 ou la revendication 6, dans lequel  
ledit procédé comprend l'étape suivante:
- (412) établir, lorsqu'uniquement deux points singuliers (Ps) sont comptés,  
la section de la surface courbe en tant que non conforme.

- 30 Procédé selon l'une quelconque des revendications 5 à 7, dans  
lequel ledit procédé comprend les étapes suivantes :
- (333a) mesurer, lorsqu'uniquement trois points singuliers (Ps) sont  
comptés, une différence de rayon de courbure (A3) entre d'une part un point  
singulier (Ps) parmi lesdits trois points singuliers (Ps) ayant le rayon de courbure  
35 maximum, et d'autre part un point particulier (Pp) correspondant au point de la

courbe d'évolution théorique (Ct) ayant la même position le long de la section que le point singulier (Ps) ayant le rayon de courbure maximum ;

- (333b) comparer cette différence de rayon de courbure (A3) avec une valeur seuil prédéterminée ;

5 - (333c) mesurer, si la différence de rayon de courbure (A3) est inférieure à la valeur seuil, les paramètres suivants :

\* une distance (L2) le long de la section entre d'une part un point singulier (Ps) parmi les trois points singuliers (Ps) ayant le rayon de courbure minimum, et d'autre part un point particulier (Pp) ayant le rayon de courbure minimum de la courbe d'évolution théorique (Ct) ;

10 \* un signe d'une différence de rayon de courbure (Dr) entre d'une part le point singulier (Ps) ayant le rayon de courbure minimum, et d'autre part le point particulier (Pp) ayant le rayon de courbure minimum ;

15 \* une différence de rayon de courbure (A2) entre d'une part le point singulier (Ps) ayant le rayon de courbure minimum, et d'autre part un point particulier (Pp) correspondant au point de la courbe d'évolution théorique (Ct) ayant la même position le long de la section que le point singulier (Ps) ayant le rayon de courbure minimum ;

20 - (413a) évaluer la conformité de la section de la surface courbe en comparant la distance (L2), la différence de rayon de courbure (A2), et le signe de la différence de rayon de courbure (Dr) mesurés à l'étape (333c) précédente à des seuils de tolérances prédéterminés.

25 - (333d) mesurer, si la différence de rayon de courbure (A3) est supérieure à la valeur seuil, une distance (L3) le long de la section entre les deux points singuliers (Ps) autres que le point singulier (Ps) ayant le rayon de courbure maximum ;

30 - (413b) évaluer la conformité de la section de la surface courbe en comparant la distance (L3) mesurée à l'étape précédente, ainsi que la différence de rayon de courbure (A3) entre d'une part le point singulier (Ps) ayant le rayon de courbure maximum et d'autre part le point particulier (Pp) de la courbe d'évolution théorique (Ct) ayant la même position le long de la surface, à des seuils de tolérances prédéterminés.

35 9. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, dans lequel ledit procédé comprend les étapes suivantes :

- (510) détecter une inversion de courbure en déterminant un centre ( $\Psi$ ) d'un cercle ( $\Omega$ ) passant par trois points de mesure (P) et si ledit centre ( $\Psi$ ) du cercle ( $\Omega$ ) est situé à l'extérieur de la section de la surface courbe ;

5 - (520) établir la section de la surface courbe en tant que non conforme si le centre ( $\Psi$ ) du cercle ( $\Omega$ ) est situé à l'extérieur de la section de ladite surface courbe.

10. Procédé de contrôle de la conformité d'un profil d'un bord d'attaque et/ou d'un bord de fuite d'une aube (2) d'une turbomachine comprenant l'étape  
10 suivante :

- mettre en œuvre le procédé de contrôle de la conformité du profil d'une section d'une surface courbe d'un élément selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, dans lequel l'élément est l'aube (2) et ladite surface courbe comprend le bord d'attaque et/ou le bord de fuite de ladite aube (2), ledit  
15 procédé de contrôle étant mis en œuvre sur une pluralité de sections de ladite aube (2) réparties le long de ladite aube (2).

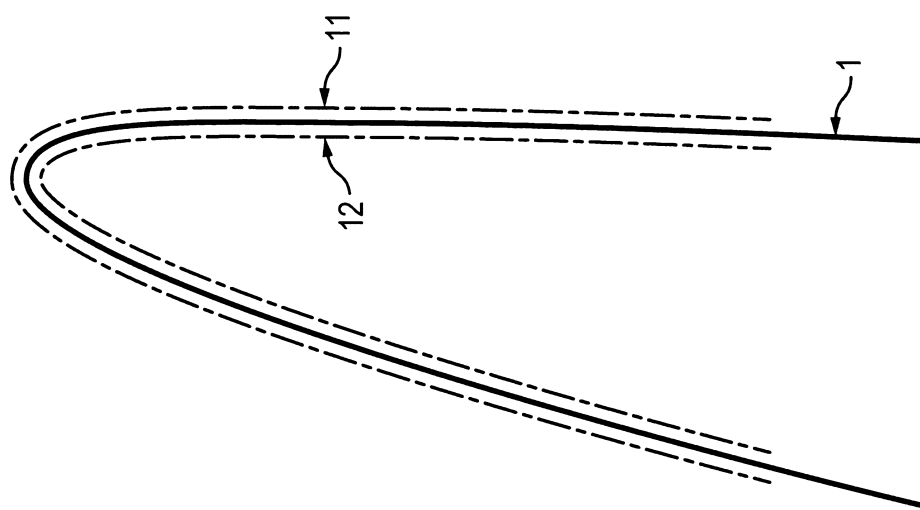


FIG. 1

FIG. 2a

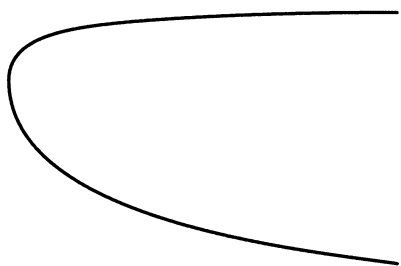


FIG. 2b

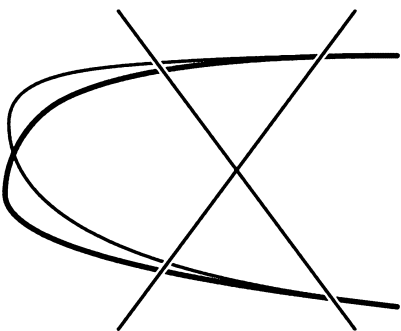


FIG. 2c

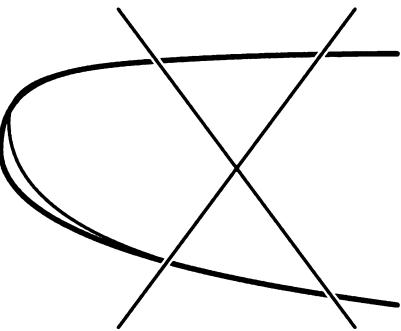
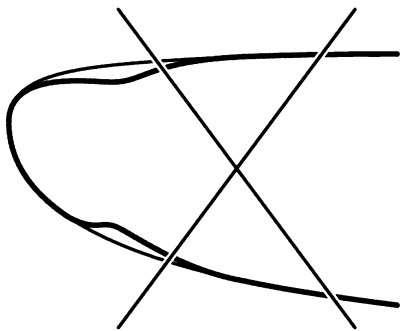


FIG. 2d



— Forme souhaitée  
— Forme inacceptable

FIG. 2e

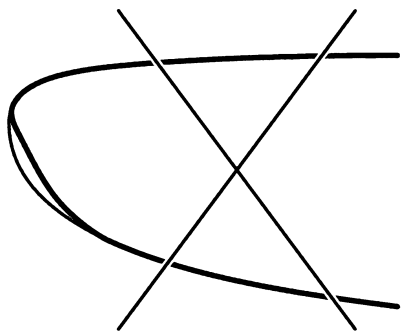


FIG. 2f

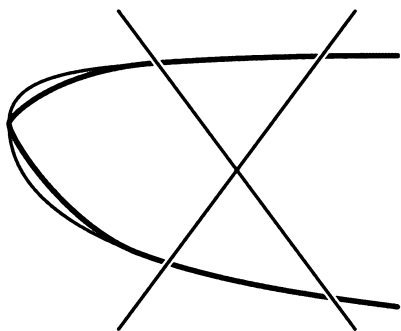


FIG. 2g

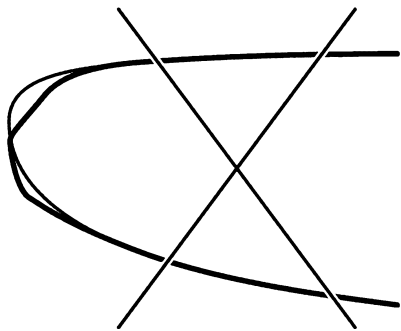
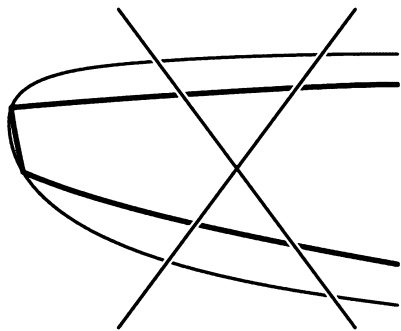
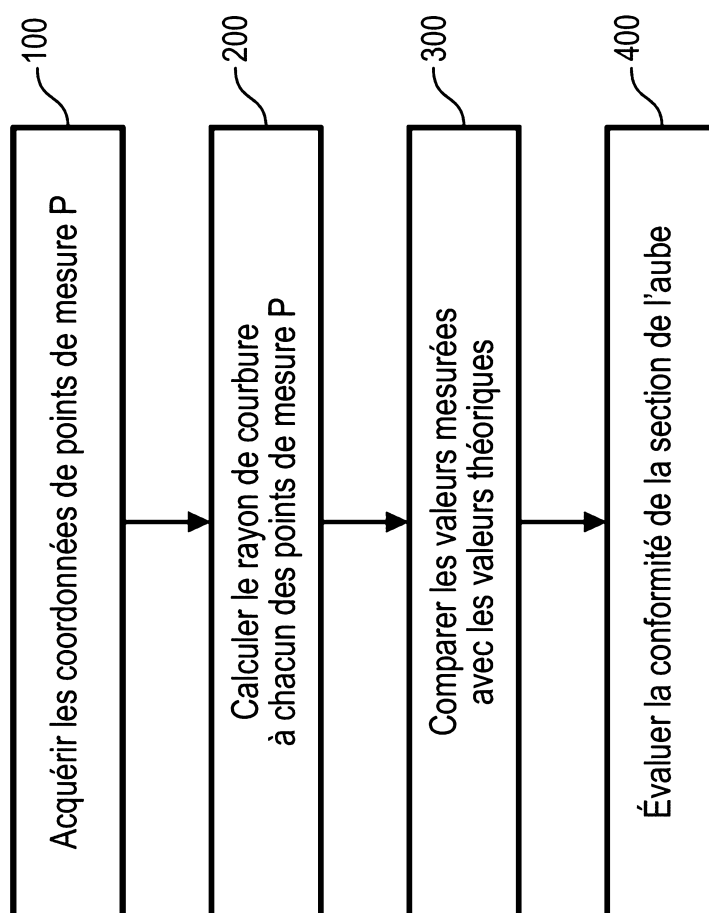


FIG. 2h



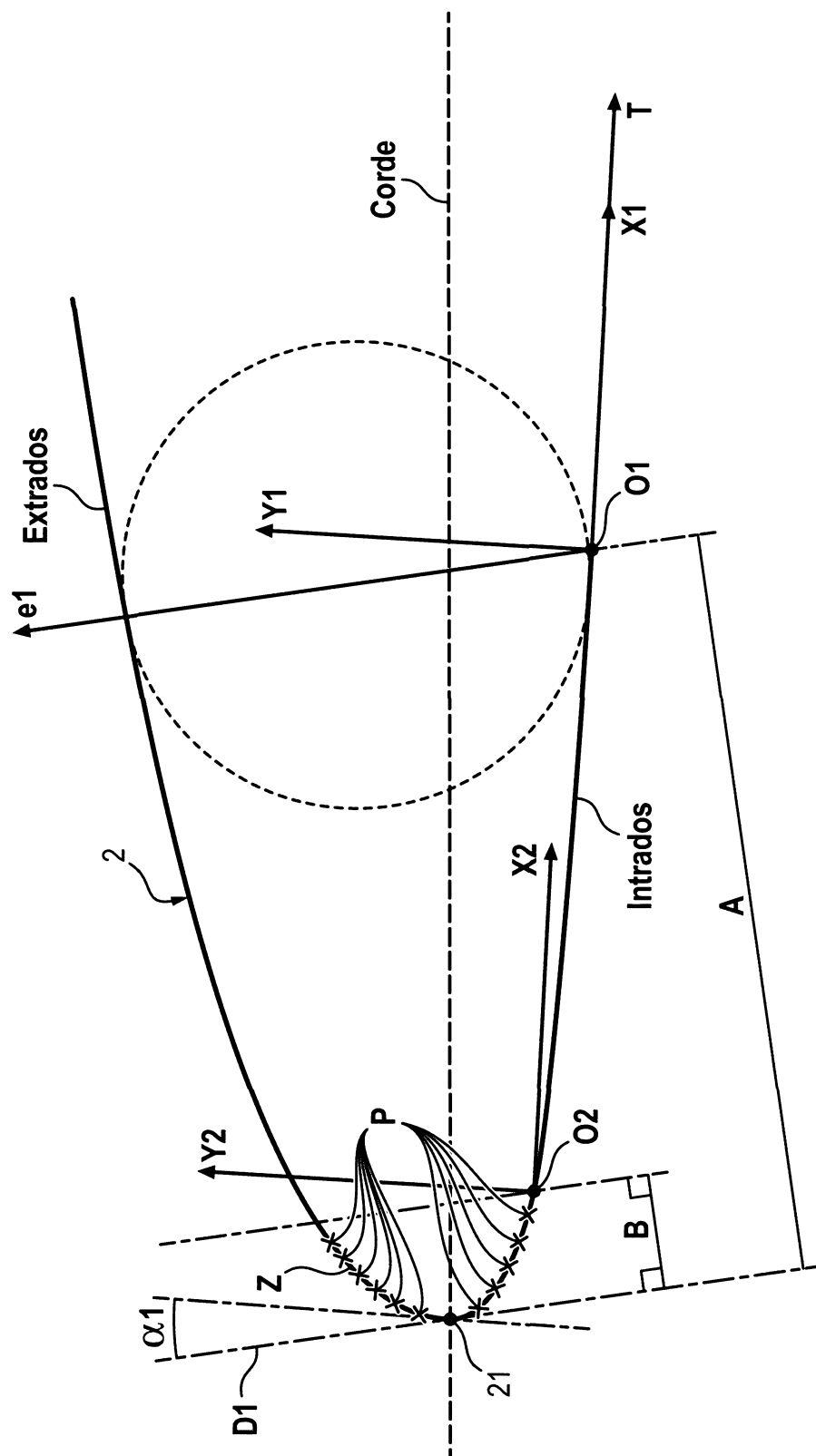
3/18

FIG. 3



4/18

FIG. 4



5/18

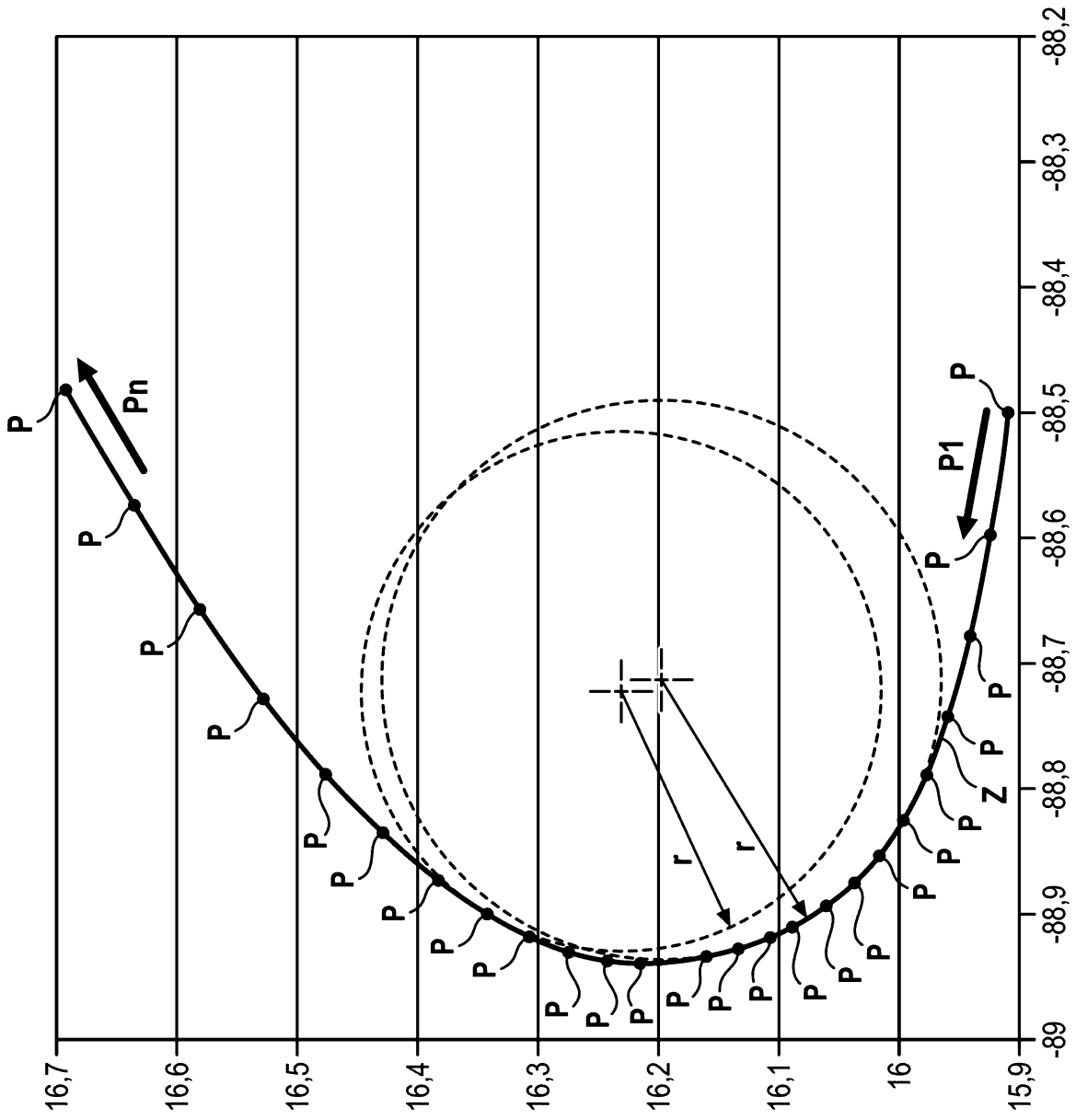
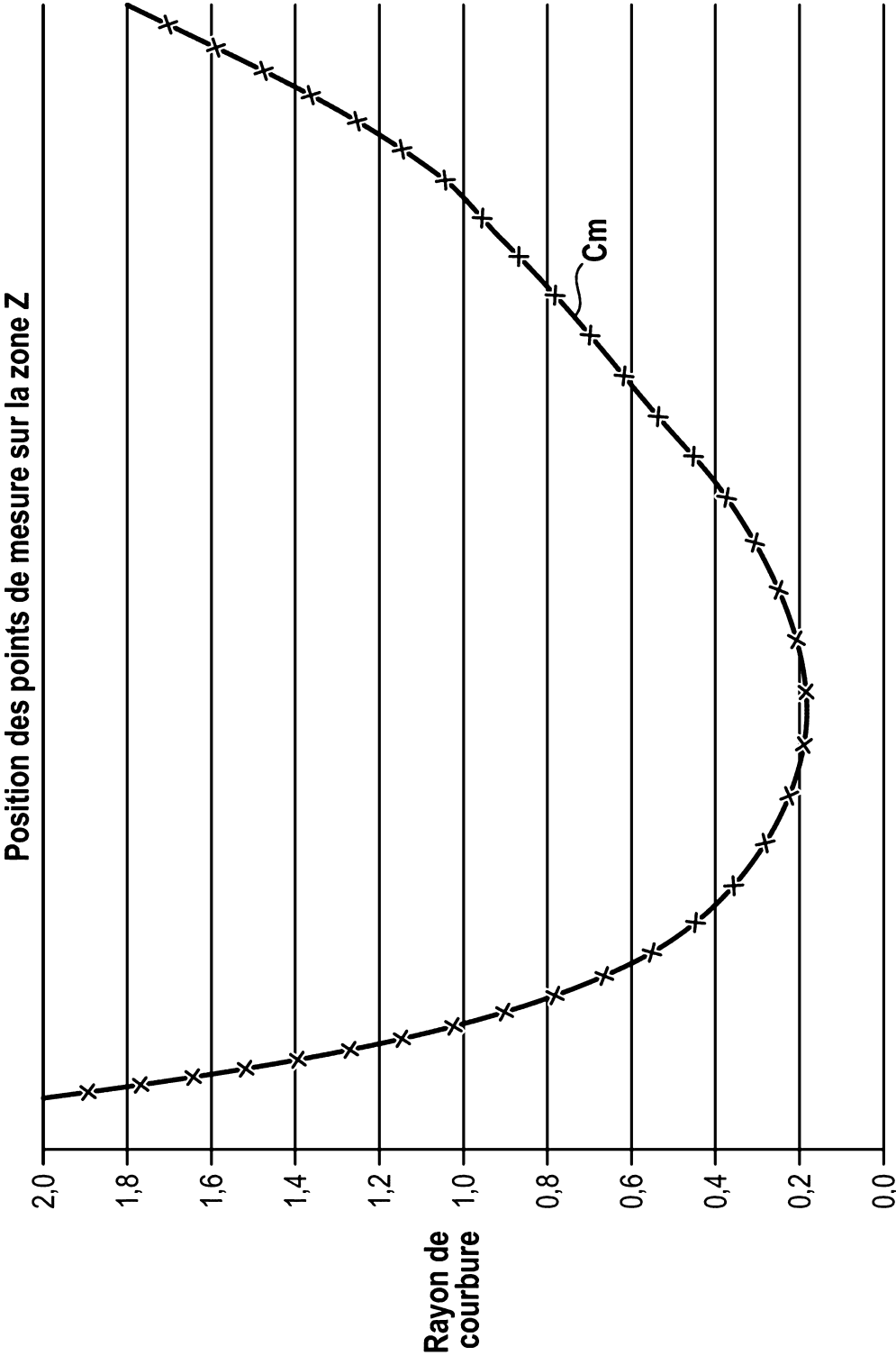


FIG. 5

FIG. 6



7/18

FIG. 7b

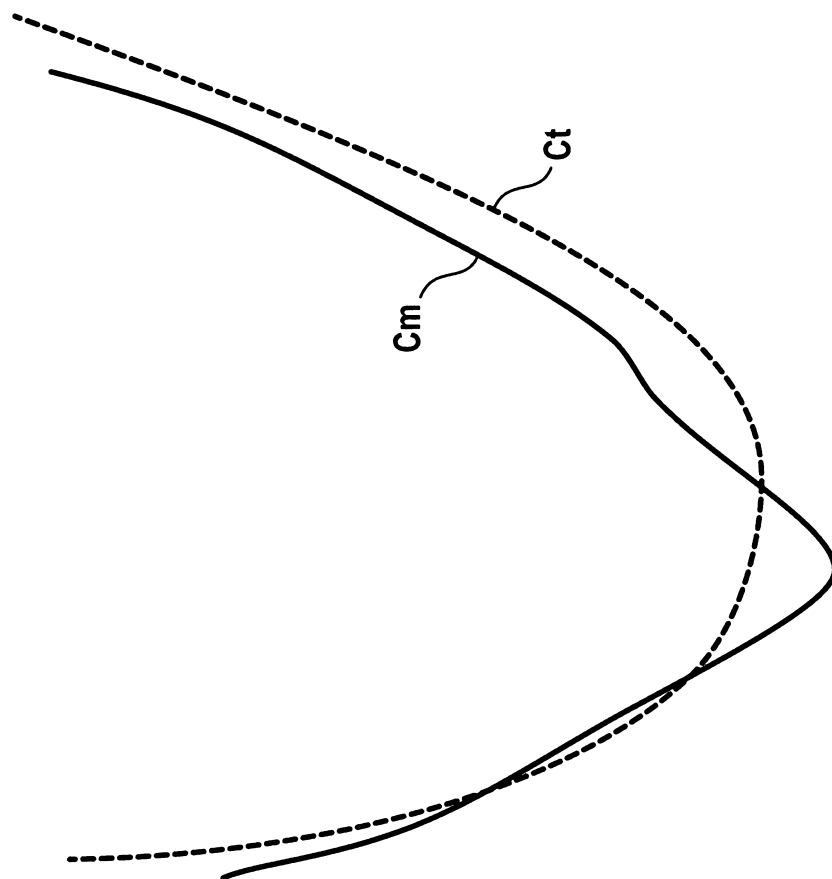


FIG. 7a

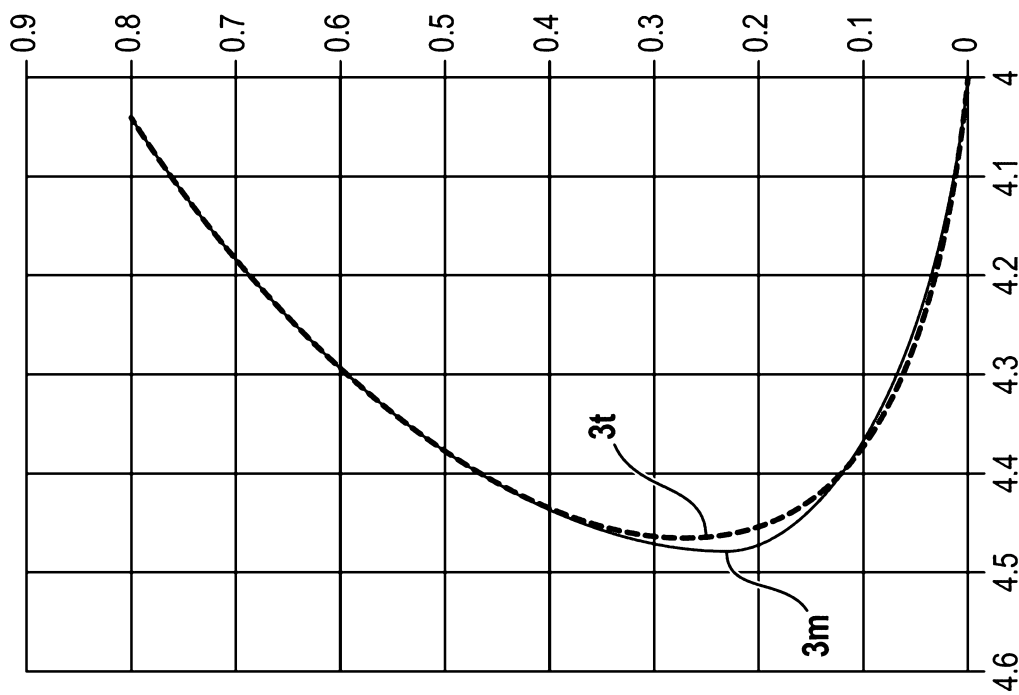


FIG. 8b

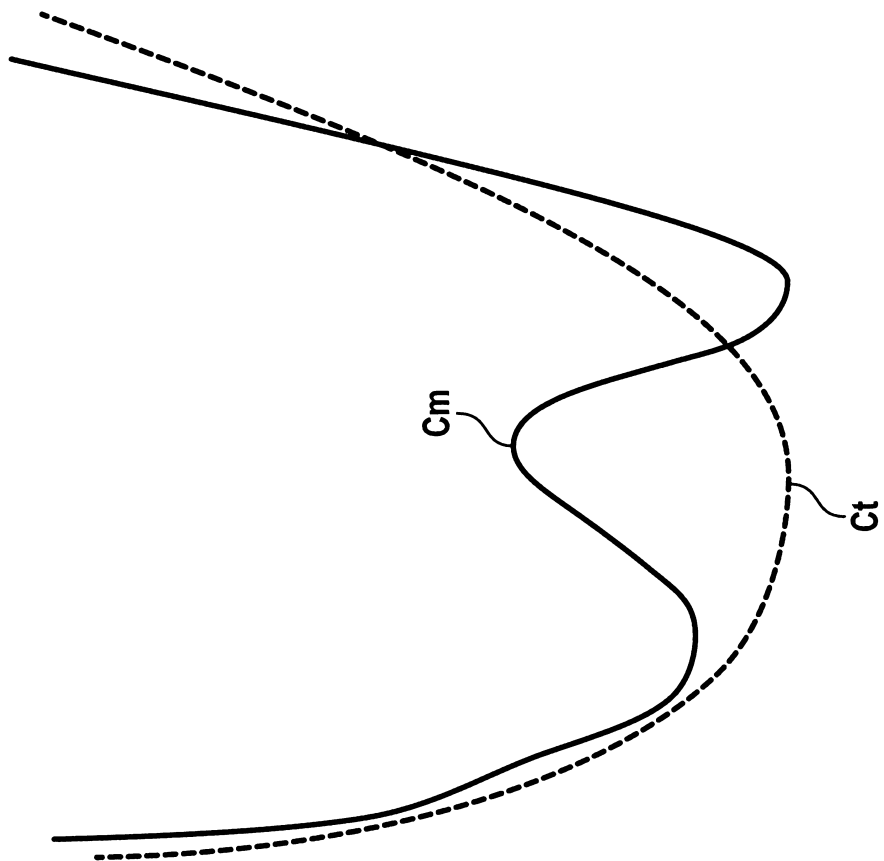


FIG. 8a

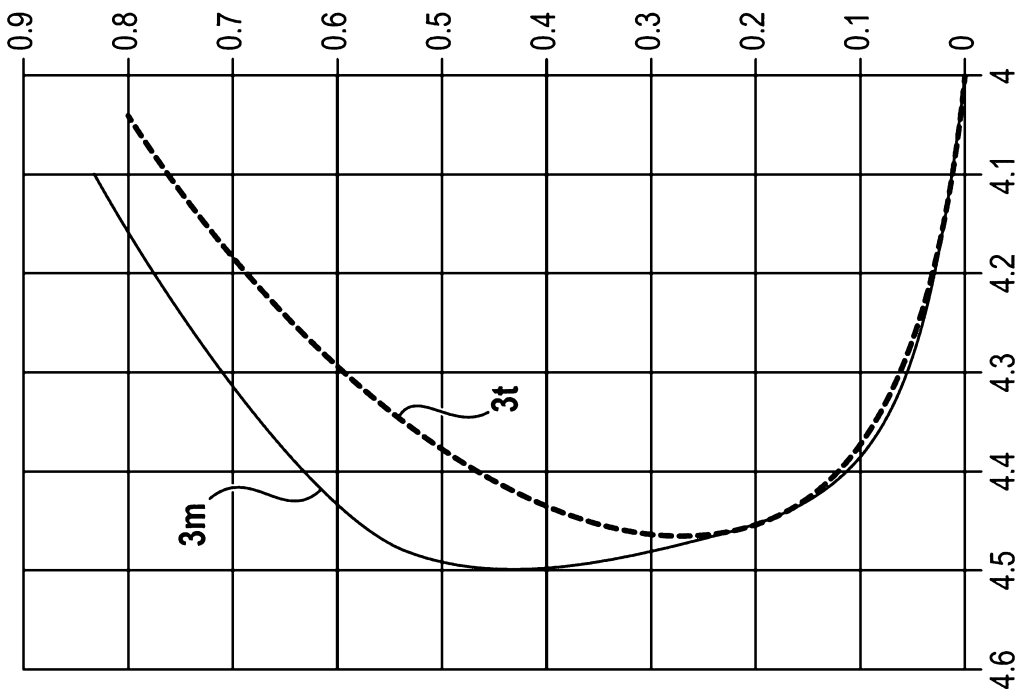


FIG. 9b

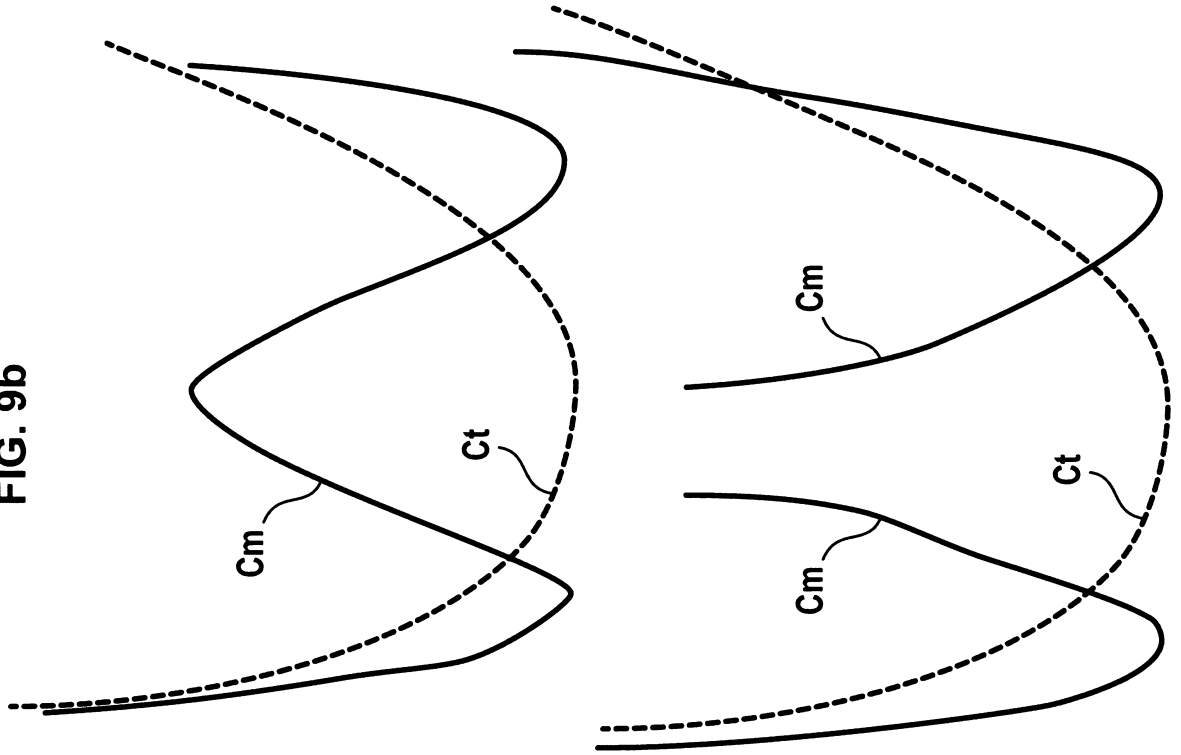
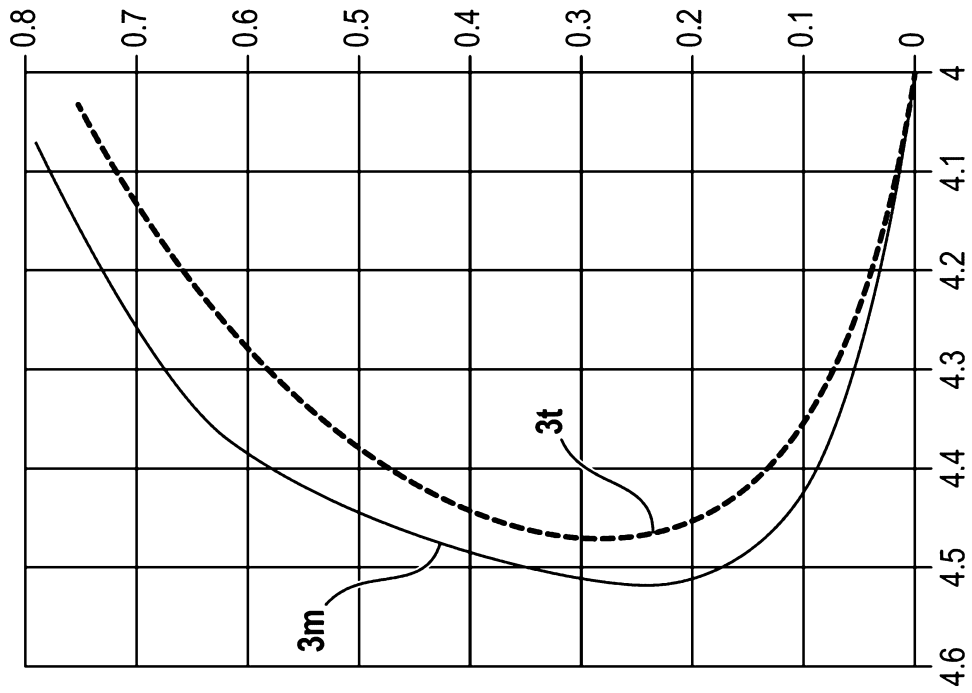


FIG. 9a



10/18

FIG. 10

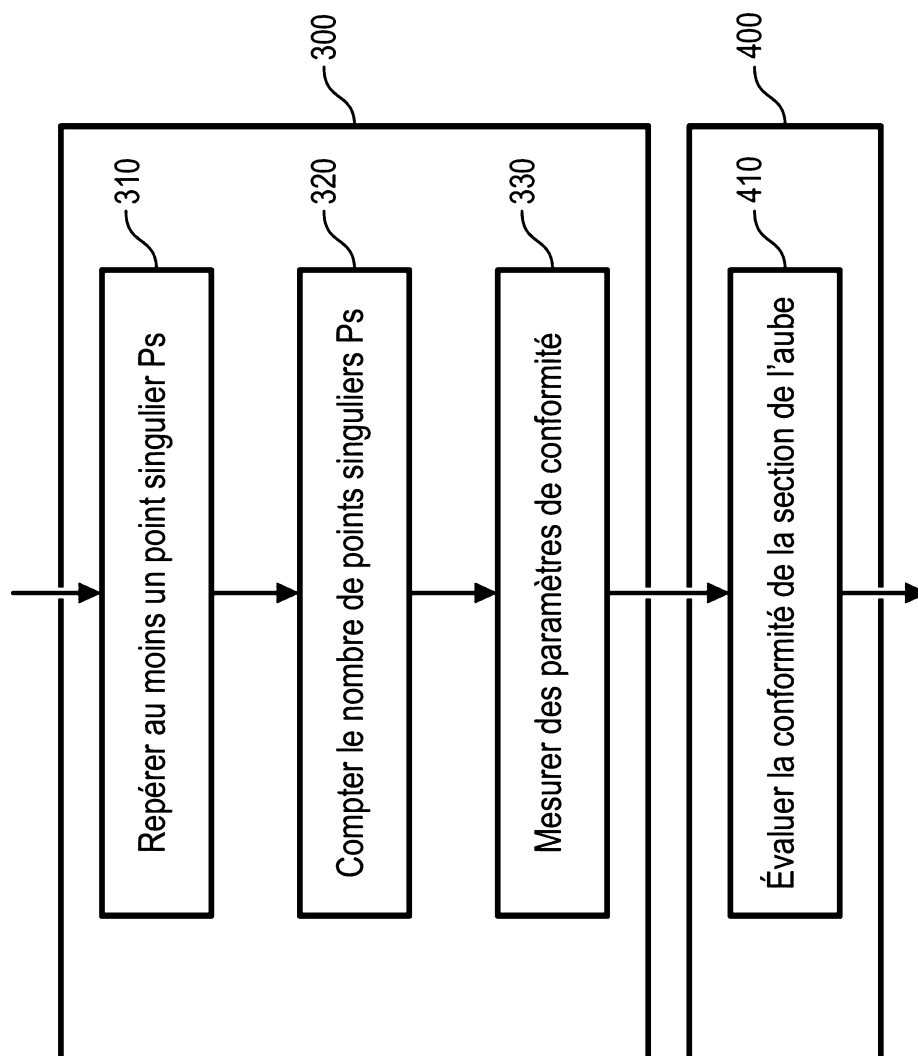


FIG. 11b

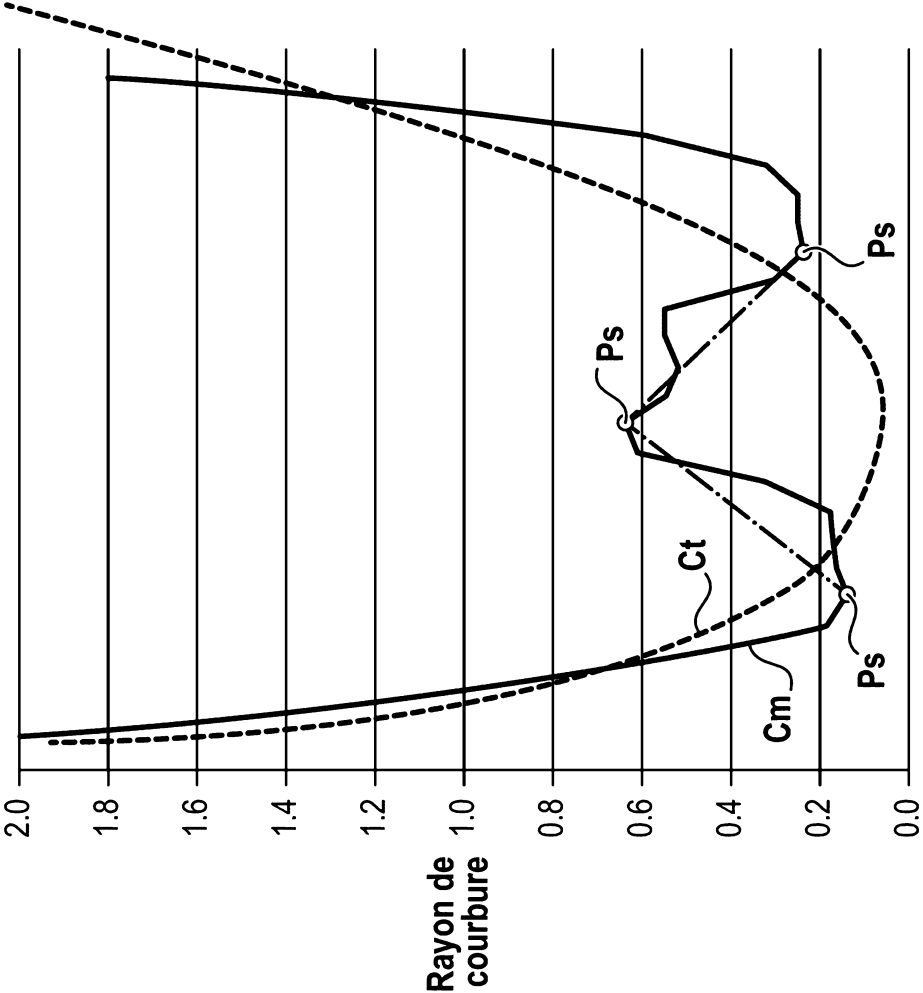
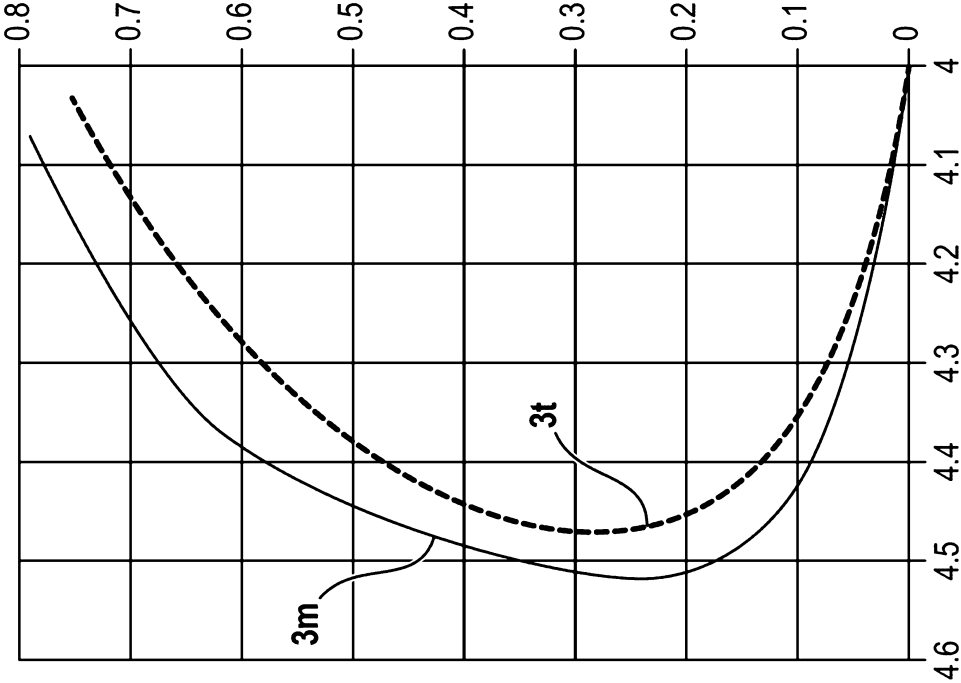
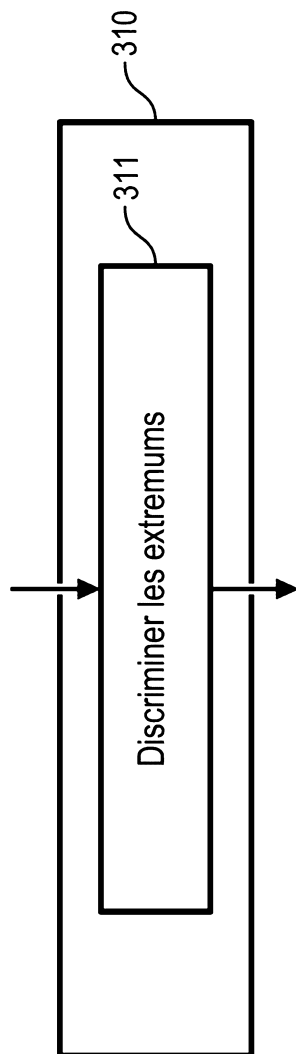


FIG. 11a

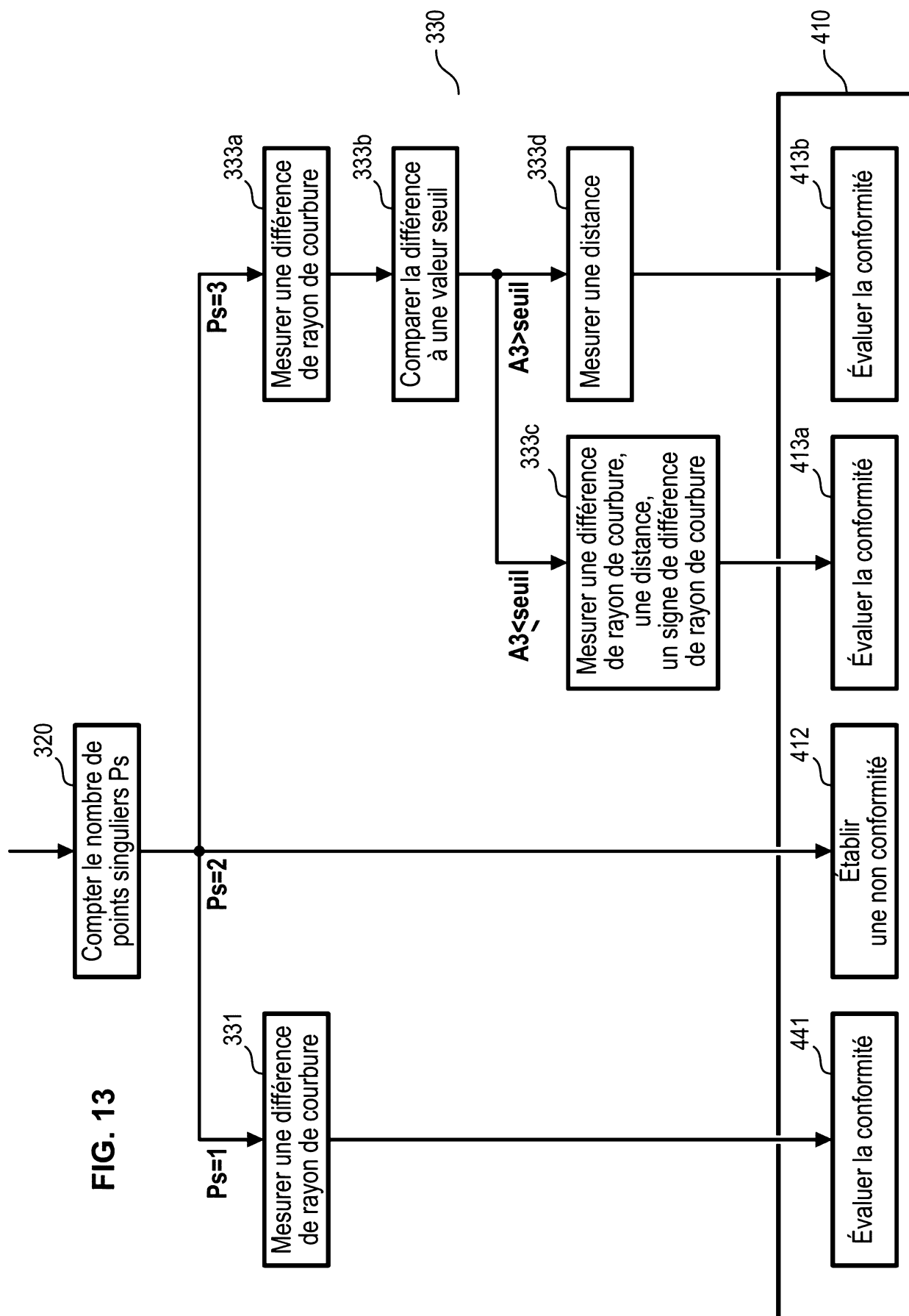


12/18

FIG. 12



13/18



14/18

FIG. 14b

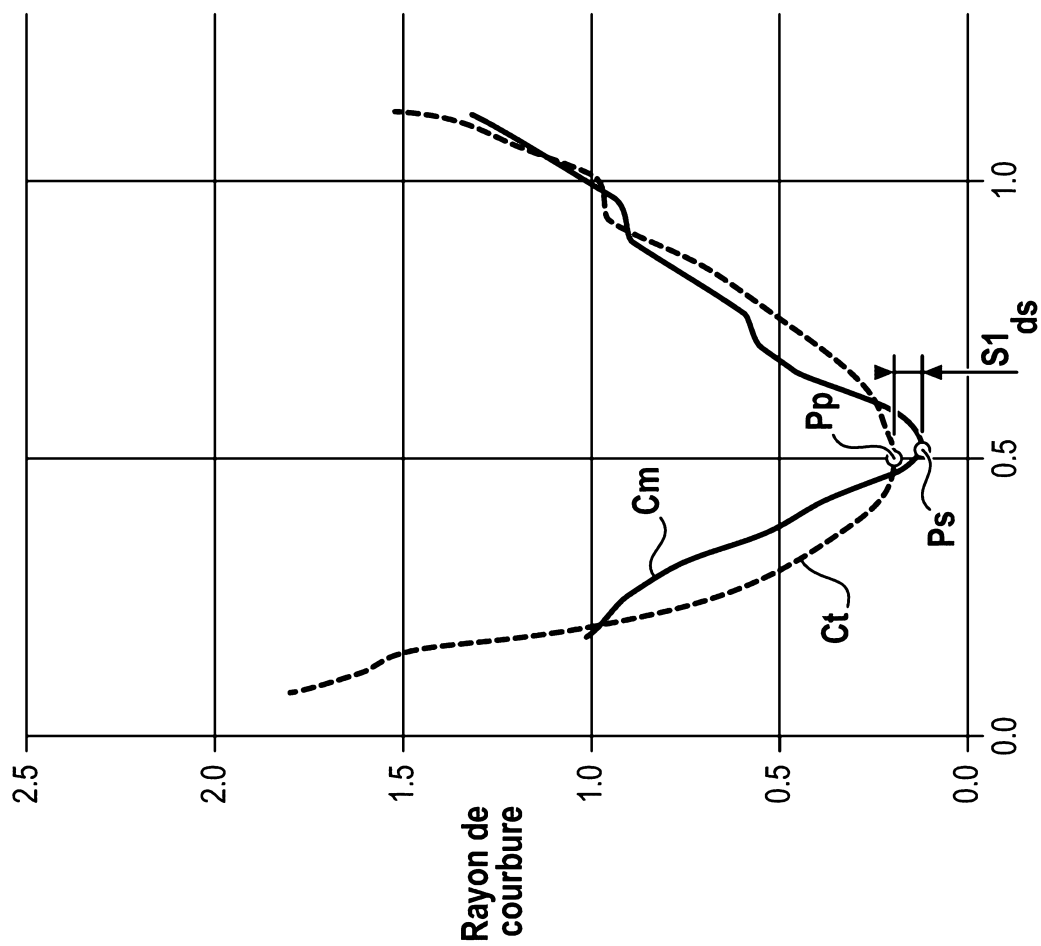


FIG. 14a

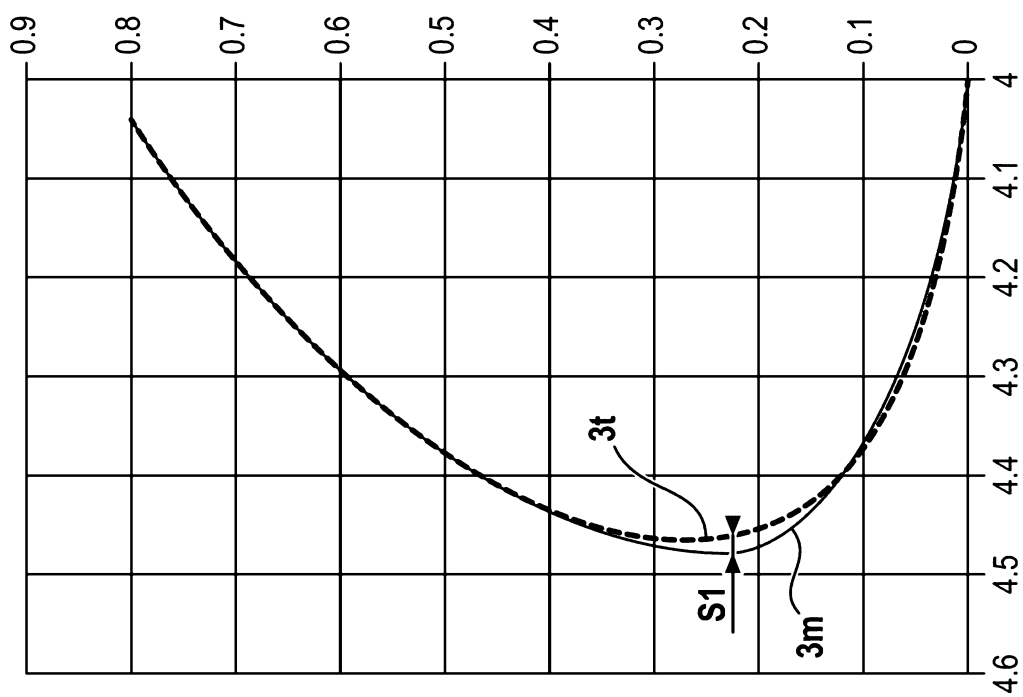




FIG. 16b

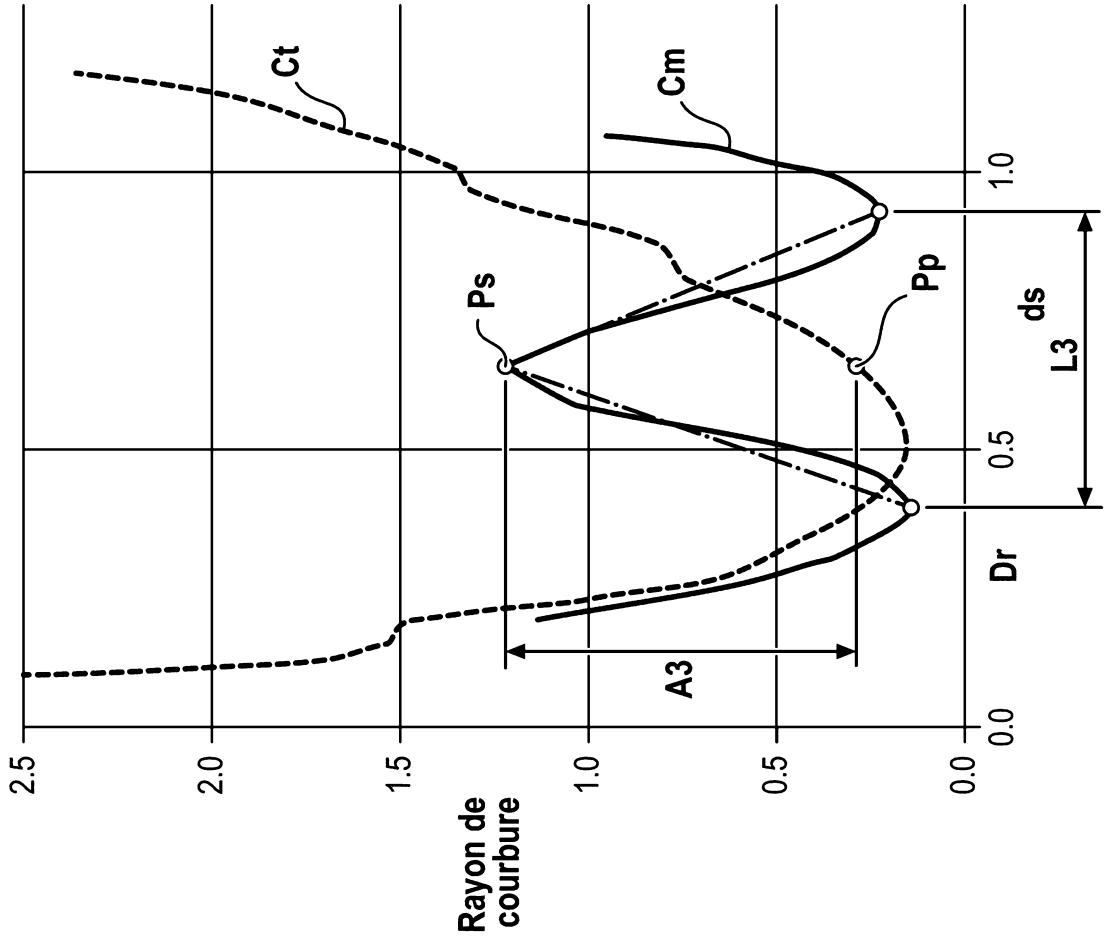
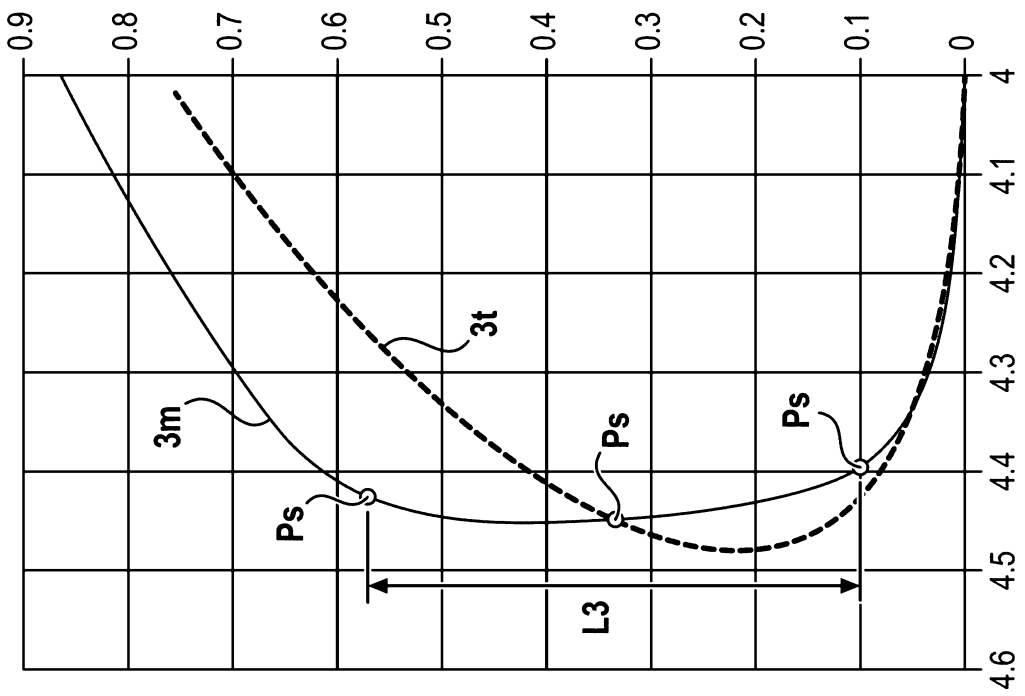
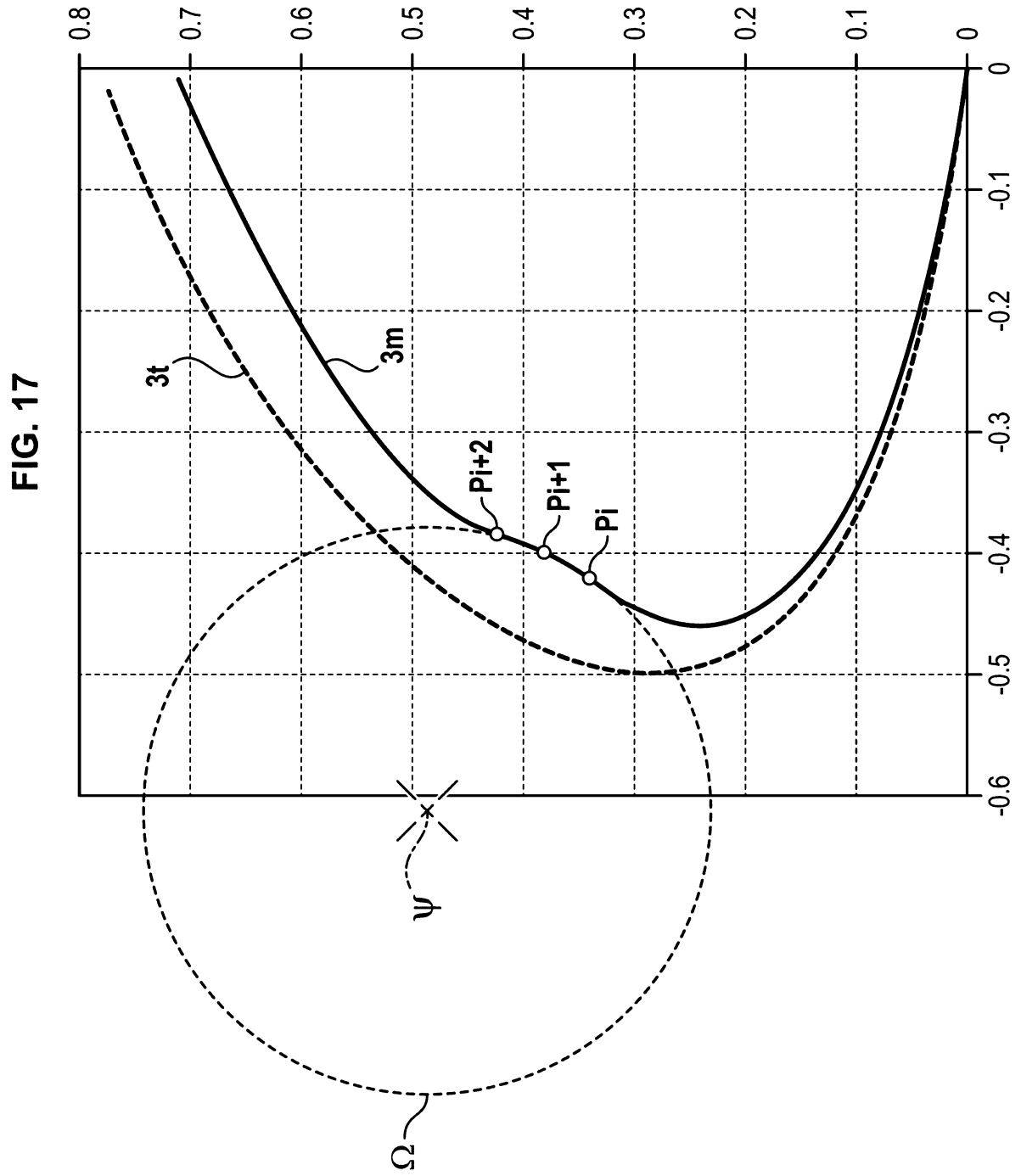


FIG. 16a



17/18



18/18

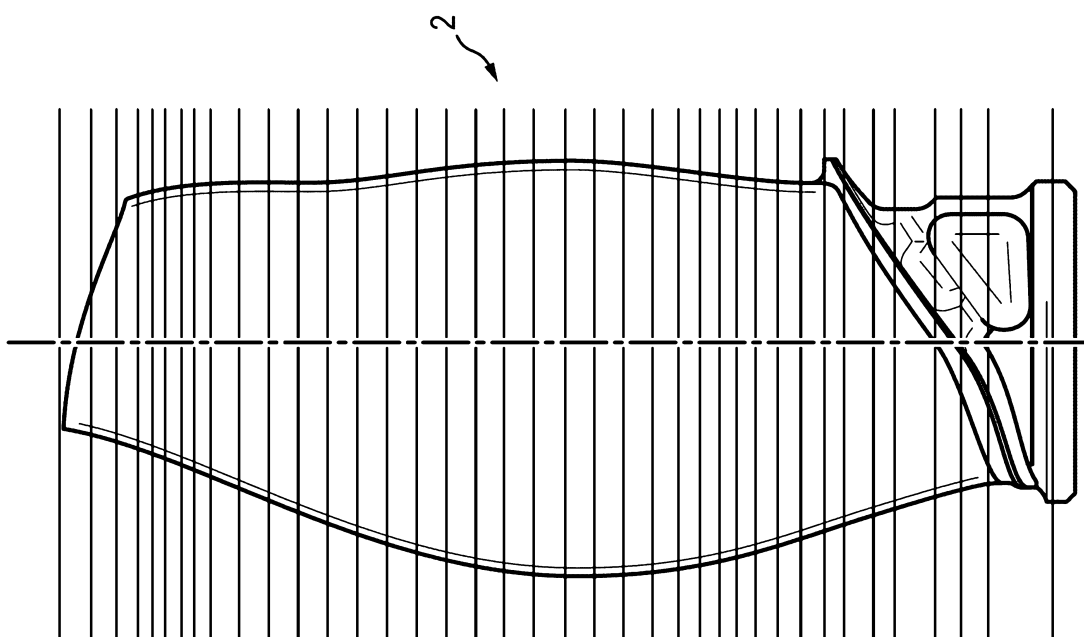


FIG. 18

# RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-17 et R.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

## OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

---

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

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

## CONDITIONS D'ÉTABLISSEMENT DU PRÉSENT RAPPORT DE RECHERCHE

---

- Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.
- Le demandeur a maintenu les revendications.
- Le demandeur a modifié les revendications.
- Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.
- Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.
- Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

## DOCUMENTS CITÉS DANS LE PRÉSENT RAPPORT DE RECHERCHE

---

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

- Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.
- Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.
- Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.
- Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

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

WO 2012/152255 A2 (MTU AERO ENGINES GMBH [DE]; ZIMMERMANN HANS [DE])  
15 novembre 2012 (2012-11-15)

US 3 846 105 A (PETRELLA J ET AL)  
5 novembre 1974 (1974-11-05)

JP H05 66113 A (HONDA MOTOR CO LTD)  
19 mars 1993 (1993-03-19)

US 2005/263727 A1 (NODA TAKASHI [JP])  
1 décembre 2005 (2005-12-01)

US 2014/025336 A1 (NODA TAKASHI [JP] ET AL)  
23 janvier 2014 (2014-01-23)

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

NEANT

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

NEANT