



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(21) Numéro de dépôt : **92450006.9**

(51) Int. Cl.⁵ : **H05H 1/26, H05H 1/34**

(22) Date de dépôt : **20.05.92**

(30) Priorité : **23.05.91 FR 9106423**

(43) Date de publication de la demande :
25.11.92 Bulletin 92/48

(84) Etats contractants désignés :
BE DE GB IT NL

(71) Demandeur : **AEROSPATIALE Société
Nationale Industrielle**
37, Boulevard de Montmorency
F-75781 Paris Cédex 16 (FR)

(72) Inventeur : **Leroux, René Gabriel Germain
Moïse**
33 avenue de Bourranville
F-33700 Merignac (FR)
Inventeur : **Taquin, Gilles Pierre**
11 allée Clément Marot
F-78630 Orgeval (FR)

(74) Mandataire : **Thébault, Jean-Louis**
Cabinet Thébault S.A. 1 Allées de Chartres
F-33000 Bordeaux (FR)

(54) **Tuyère à profil interne adapté aux essais à haute température d'éprouvettes ou analogues du type "planche plane".**

(57) - L'invention concerne une tuyère à profil interne adapté aux essais à haute température d'éprouvettes ou analogues du type "planche plane", caractérisée en ce qu'elle est constituée, d'une part, d'un convergent (1) et d'une région du col (2) axisymétriques et, d'autre part, d'un divergent (3) de section superelliptique s'appuyant sur deux génératrices rectilignes prises dans deux plans perpendiculaires, l'une (G1), dite de petit axe, dont la pente est de l'ordre de 1° et, l'autre (G2), dite de grand axe, dont la pente est de l'ordre de 10°, les extrémités aval des génératrices circulaires correspondantes de la région du col étant raccordées auxdites génératrices de petit axe et de grand axe par une courbe dont l'équation est telle que les dérivées première et seconde sont continues et la dérivée troisième est monotone, en vue d'éviter ou réduire les problèmes de recompression et éventuellement de formation de chocs.

- Application notamment aux essais à température élevée de matériaux d'engins spatiaux.

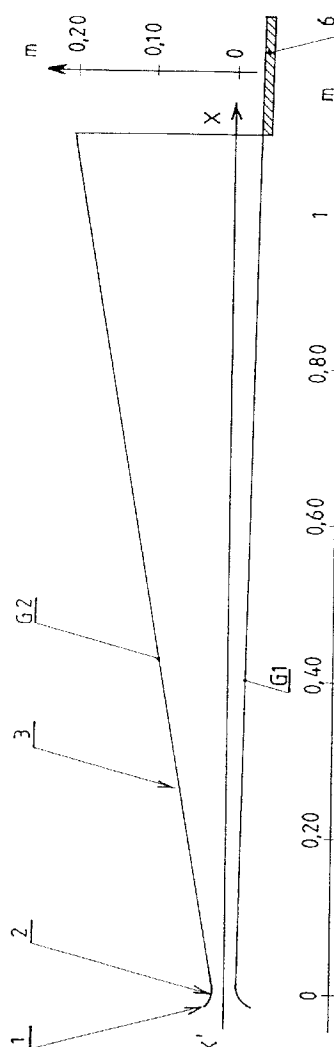


FIG. 1.

La présente invention a trait à une tuyère dite "haute température" et notamment à plasma, dont le profil interne est spécialement conçu pour permettre les essais du type planche plane d'éprouvettes, en particulier de matériaux devant résister à de fortes sollicitations, notamment thermiques et en pression.

L'invention vise plus particulièrement les essais de matériaux destinés à constituer les parties chaudes d'engins spatiaux appelés à affronter les sévères conditions de rentrée atmosphérique qui se traduisent par des températures élevées (1100 à 1900 °C) et des pressions basses pendant une durée relativement importante (environ une demi-heure).

Le type d'essai dit "planche plane" consiste à disposer une éprouvette constituée d'un bloc monolithique ou de plusieurs éléments d'un ou plusieurs matériaux à tester, parallèlement au jet issu d'une tuyère et à mesurer en différents points de la paroi de l'éprouvette ou de l'assemblage la pression statique ainsi que la température pour des incidences de la paroi par rapport au jet de la tuyère allant de 0 à quelques degrés.

Ces essais sont pratiqués à l'aide d'une installation comprenant un générateur de plasma engendrant un écoulement à haute température, une tuyère disposée à l'aval du générateur et transformant l'écoulement pour l'adapter aux conditions d'essais souhaitées, une chambre d'essais dans laquelle débouche la tuyère et où sont installés les dispositifs de présentation des éprouvettes ou analogues ainsi que les divers moyens de mesure indispensables aux essais, un diffuseur à l'aval de la chambre destiné à récupérer l'écoulement après son passage sur les éprouvettes, un échangeur de chaleur pour refroidir l'écoulement et un système de vide à l'aval destiné à maintenir le bas niveau de pression requis, pour ce genre d'essai, dans la chambre.

La forme particulière des éprouvettes dans les essais en "planche plane" nécessite une tuyère de configuration appropriée comportant un bord d'extrémité aval rectiligne susceptible de se raccorder à l'un des bords rectilignes de l'éprouvette.

Actuellement, deux types de tuyère sont utilisés pour des essais en "planche plane", à savoir une tuyère dite "tube carré" et une tuyère dite "semi-circulaire".

La tuyère "tube carré" comporte un divergent dont la section, en sortie, est en fait légèrement rectangulaire avec des angles arrondis, cependant que la tuyère semi-circulaire est une tuyère axisymétrique dont le divergent est réduit de moitié suivant un plan contenant l'axe de la tuyère.

Les essais avec ces types de tuyère ne donnent pas pleinement satisfaction car ces dernières génèrent en sortie un écoulement tourbillonnaire très perturbé incompatible avec la nécessité pour des essais en "planche plane" d'avoir une très bonne homogénéité de l'écoulement du gaz chaud en vue d'obtenir une répartition aussi uniforme que possible des pres-

sions statiques et des flux thermiques sur la face exposée de l'éprouvette.

Le but de l'invention est de proposer une tuyère hypersonique destinée à ce type d'essai en "planche plane", c'est-à-dire présentant en sortie une partie plate et apte à délivrer un écoulement tel qu'au moins au droit de ladite partie plate le profil de pression soit le plus uniforme possible.

A cet effet, l'invention a pour objet une tuyère à profil interne adapté aux essais à haute température d'éprouvettes ou analogues du type "planche plane", caractérisée en ce qu'elle est constituée, d'une part, d'un convergent et d'une région du col axisymétriques et, d'autre part, d'un divergent de section superelliptique s'appuyant sur deux génératrices rectilignes prises dans deux plans perpendiculaires, l'une, dite de petit axe, dont la pente est de l'ordre de 1° et, l'autre, dite de grand axe, dont la pente est de l'ordre de 10°, les extrémités aval des génératrices circulaires correspondantes de la région du col étant raccordées auxdites génératrices de petit axe et de grand axe par une courbe dont l'équation est telle que les dérivés première et seconde sont continues et la dérivée troisième est monotone, en vue d'éviter ou réduire les problèmes de recompression et éventuellement de formation de chocs.

Avantageusement ladite section superelliptique est une courbe d'équation :

$$[Y/R_1(X)]^2 + [Z/R_2(X)]^{N(X)} = 1$$

dans laquelle :

- $R_1(x)$ et $R_2(x)$ sont les distances radiales à l'abscisse X desdites génératrices de petit axe et de grand axe respectivement ;
- Y et Z sont les coordonnées d'un point du divergent ;
- $N(X)$ est l'exposant superelliptique, cet exposant présentant une courbe de variation ayant une forme évoluant de façon croissante depuis la valeur 2 jusqu'à une valeur supérieure permettant d'obtenir la planéité recherchée en sortie de tuyère.

L'exposant superelliptique ainsi choisi assure, d'une part, la planéité recherchée en sortie de tuyère et, d'autre part, un bon raccordement entre le divergent et la région du col.

En vue d'améliorer encore le raccord entre le divergent et la région du col et de s'assurer que le passage de la géométrie axisymétrique du col à la géométrie superelliptique du divergent se fasse avec la plus grande monotonie, en particulier au droit de la génératrice de grand axe, cette dernière est décalée d'une valeur ε et la courbe reliant les extrémités amont de ladite génératrice respectivement avant décalage (E_0) et après décalage (E_1), est déterminée à partir d'un polynôme de degré 4 du type :

$$F(X) = A(X - X_1)^4 + B(X - X_1)^3 + aX + b - \varepsilon$$

dans lequel A et B sont des constantes et $aX + b - \varepsilon$ est l'équation de la génératrice de grand axe après

décalage, l'origine des abscisses étant comptée à partir du col, la valeur X_0 , abscisse de l'extrémité amont de ladite génératrice, avant décalage, étant choisie et les valeurs ε , X et X_1 , abscisse de l'extrémité amont de ladite génératrice, après décalage, étant calculées d'après le polynôme ci-dessus, afin d'assurer la continuité des dérivées première et seconde au point E_0 ainsi que la stricte monotonie de la dérivée troisième entre E_0 et E_1 .

Il est également important, pour que le passage de la géométrie axisymétrique du col à la géométrie superelliptique du divergent se fasse avec la plus grande monotonie, que ladite courbe de variation de l'exposant superelliptique $N(X)$ présente, en outre, des propriétés de continuité de ses dérivées première et seconde au niveau du raccord avec la surface axisymétrique du col et qu'en particulier au point de raccord E_0 les dérivées première et seconde soient nulles.

Il est enfin préférable que cette propriété de la courbe d'évolution de $N(X)$ se retrouve également à la sortie de la tuyère et que, d'une manière générale, ladite courbe de variation présente des dérivées première et seconde sensiblement nulles aux deux valeurs extrêmes de l'exposant, en étant monotone croissante et en présentant un point d'inflexion intermédiaire.

L'invention permet de réaliser ainsi une tuyère dont la sortie présente deux bords parallèles pratiquement rectilignes raccordés aux extrémités par deux courbes approximativement en forme de demi-ellipses et dans laquelle l'écoulement de sortie présente une grande homogénéité caractérisée par une faible variation de la pression, de l'ordre de 1%, le long de la partie plane.

D'autres caractéristiques et avantages ressortiront de la description qui va suivre d'un mode de réalisation d'une tuyère conforme à l'invention, description donnée à titre d'exemple uniquement et en regard des dessins annexés sur lesquels :

- Figure 1 représente schématiquement une coupe axiale suivant une génératrice de petit axe (demi-coupe inférieure) et une génératrice de grand axe (demi-coupe supérieure) d'une tuyère selon l'invention ;
- Figure 2 est une vue agrandie du convergent, de la région du col et du début du divergent de la tuyère de la figure 1 ;
- Figure 3 est une vue en perspective plongeante partielle d'un quart de la tuyère, côté sortie ;
- Figure 4 est une vue en perspective d'un quart du divergent ;
- Figure 5 représente trois coupes radiales d'un quart-du divergent de la figure 4 au voisinage de la sortie
- Figure 6 représente quatre coupes radiales d'un quart d'une autre tuyère selon l'invention, et
- Figure 7 est un diagramme illustrant le raccor-

dement entre la région du col de la tuyère et le divergent.

Les figures 1 à 4 illustrent un mode de réalisation d'une tuyère selon l'invention comprenant un convergent conique 1, un col 2 de section circulaire et un divergent 3 très allongé par rapport à la longueur du convergent 1.

Le divergent présente une section superelliptique s'appuyant sur deux génératrices rectilignes prises dans deux plans perpendiculaires contenant l'axe $X'X$ de la tuyère et constituant deux plans de symétrie de cette dernière.

L'une de ces génératrices, $G1$, dite de petit axe, se trouve dans un plan dénommé $\phi = 0^\circ$ définissant le plan de référence XY de la figure 4, cependant que l'autre génératrice, $G2$, dite de grand axe, se trouve dans le plan dénommé $\phi = 90^\circ$ définissant le plan de référence XZ de ladite figure 4.

Les figures 3 et 4 sont des visualisations partielles sous forme de maillages de la tuyère des figures 1 et 2.

La génératrice $G1$ présente une pente de l'ordre de 1° par rapport à l'axe $X'X$, cependant que la génératrice $G2$ présente une pente de l'ordre de 10° , toujours par rapport à l'axe $X'X$.

La section de sortie de la tuyère, dont on peut en voir le quart sur la figure 3, est délimitée par deux bords pratiquement rectilignes et parallèles (un seul étant représenté en partie en 4 sur les figures 3 et 4) raccordés aux extrémités par des courbes sensiblement de type elliptique (5, figures 3 et 4). Par exemple, les deux bords pratiquement rectilignes ont une longueur comprise entre 0,30 et 0,40 m et le petit axe de la section de sortie a une longueur comprise entre 0,05 et 0,08 m.

La tuyère est destinée à des essais de flux de chaleur sur des plaques planes dont une est représentée schématiquement en 6 sur la figure 1.

Ces plaques planes sont constituées par des éprouvettes de matériaux à tester où des assemblages, dont la face supérieure est disposée dans le prolongement du bord rectiligne inférieur de sortie de la tuyère, des moyens étant prévus pour donner éventuellement une légère inclinaison de ladite face exposée de la plaque plane 6 par relevage de cette dernière autour du bord contigu à la sortie de la tuyère.

Ces plaques planes d'essais ont habituellement une largeur de 30 cm, aussi la longueur du bord rectiligne de sortie 4 de la tuyère doit être d'au moins 30 cm.

Conformément à l'invention, le divergent 3 a été conformé de façon à passer de manière continue d'une géométrie axisymétrique circulaire au niveau du col 2, à une géométrie superelliptique en sortie de tuyère afin d'obtenir un bord de sortie pratiquement rectiligne de longueur suffisante et présentant un profil de pression aussi uniforme que possible.

Il a été constaté que l'on obtenait un profil de

pression remarquablement uniforme en adoptant, comme courbe du type superellipse d'une section quelconque du divergent 3, une courbe satisfaisant à l'équation :

$$[Y/R_1(X)]^2 + [Z/R_2(X)]^{N(X)} = 1$$

dans laquelle :

- $R_1(X)$ et $R_2(X)$ sont les distances radiales, à l'abscisse X prise à partir du col 2, desdites génératrices G1 et G2 ;
- Y et Z sont les coordonnées d'un point de la section du divergent à l'abscisse X ;
- $N(X)$ est l'exposant superelliptique.

Au col 2, l'abscisse X est nulle et $R_1(X) = R_2(X) =$ rayon du col 2, en affectant à $N(X)$ la valeur 2.

En faisant ensuite évoluer $N(X)$ de façon croissante vers une valeur élevée, par exemple 10, en l'astreignant à suivre une courbe de variation ayant une forme telle qu'elle présente des dérivées première et seconde sensiblement nulles aux deux valeurs extrêmes de l'exposant, tout en étant monotone croissante en présentant un point d'inflexion intermédiaire, on obtient une section de tuyère qui se déforme continuellement pour aboutir en sortie à un profil du type décrit ci-dessus et représenté en figure 3.

La figure 5 illustre trois sections de tuyère à trois abscisses différentes du divergent.

Les sections S1, S2 et S3 correspondent à un rapport section S1/section du col 2 égal à 30, 25 et 20 respectivement.

On obtient ainsi en sortie de tuyère une partie 4 pratiquement rectiligne. Cette partie n'est pas rigoureusement rectiligne car la section de sortie est de type superelliptique mais on peut tendre vers une planéité de plus en plus accentuée en augmentant la valeur dudit exposant superelliptique $N(X)$.

Dans la pratique, on pourra faire évoluer $N(X)$ entre les valeurs 2 et 20, en respectant ladite courbe d'évolution, ce qui permettra d'obtenir une planéité compatible avec les spécifications des essais requis pour une tuyère à plasma.

Par ailleurs, pour éviter des problèmes de recompression et éventuellement de formation de chocs immédiatement en aval du col 2, il faut s'assurer, en outre, que le passage de la géométrie axisymétrique du col 2 à la géométrie superelliptique du divergent 3 se fasse avec la plus grande monotonie. En particulier, dans le plan $\phi = 90^\circ$ le passage entre la génératrice circulaire du col 2 et la génératrice G2 inclinée à 10° environ s'accompagne d'une discontinuité des dérivées secondes qui pourrait occasionner d'éventuelles recompressions.

Pour éviter cela on va, conformément à l'invention, considérer une nouvelle génératrice G'2 décalée de la précédente d'une certaine valeur ε et chercher une courbe $F(X)$ permettant de relier la génératrice circulaire du col à la nouvelle génératrice G'2 tout en assurant la continuité des dérivées première et seconde ainsi que la monotonie de la dérivée troisième.

Sur la figure 7 on a représenté en 7 une génératrice circulaire du col 2 raccordée tangentiellement à une droite $y = aX + b$ au point E_0 . Cette droite est décalée en direction de l'axe $X'X$ d'une distance ε et translatée du point d'origine E_0 d'abscisse X_0 au point d'origine E_1 d'abscisse X_1 , en sorte que la courbe de raccordement entre le point E_0 de la droite G2 et le point d'origine E_1 de la droite G'2 satisfasse à l'équation :

$$F(X) = A(X - X_1)^4 + B(X - X_1)^3 + aX + b - \varepsilon$$

Dans cette équation, A et B sont des constantes. L'abscisse X_0 étant déterminée par le point de tangence entre la génératrice de grand axe, avant décalage, et la génératrice circulaire correspondante du col, les valeurs ε , X et X_1 sont calculées à partir de l'équation ci-dessus en sorte d'assurer la continuité des dérivées première et seconde au point E_0 ainsi que la stricte monotonie de la dérivée troisième entre les points E_0 et E_1 .

Il est donc préférable de prendre comme génératrice de grand axe la droite G'2 plutôt que la droite G2. Il n'est pas nécessaire par contre d'effectuer un décalage analogue sur la génératrice de petit axe G1, compte-tenu de sa très faible pente par rapport à l'axe $X'X$ (inférieure ou égale à 1°) qui rend les risques de recompression peu probables.

Par ailleurs, il est également important, pour que le passage de la géométrie axisymétrique du col à la géométrie superelliptique du divergent se fasse avec la plus grande monotonie, que ladite courbe de variation de l'exposant superelliptique $N(X)$ présente, en outre, des propriétés de continuité de ses dérivées première et seconde au niveau du raccord avec la surface axisymétrique du col et qu'en particulier au point de raccord E_0 les dérivées première et seconde soient nulles.

Il est enfin préférable que cette propriété de la courbe d'évolution de $N(X)$ se retrouve également à la sortie de la tuyère et que, d'une manière générale, ladite courbe de variation présente des dérivées première et seconde sensiblement nulles aux deux valeurs extrêmes de l'exposant, en étant monotone croissante et en présentant un point d'inflexion intermédiaire.

C'est ainsi que l'on pourrait prendre, comme courbe de variation de $N(X)$, un polynôme de degré 5 dans la mesure où seraient satisfaites les diverses conditions énoncées ci-dessus.

Bien entendu de nombreuses autres fonctions du même type ou d'autres types satisfaisant auxdites conditions fixées pourraient également convenir en assurant les propriétés requises de continuité des dérivées première et seconde desdites fonctions au niveau du raccord (E_0) entre le divergent 3 et la surface axisymétrique du col 2 ainsi qu'à la sortie de la tuyère.

Il est à noter que la zone de raccordement entre les points E_0 et E_1 est très réduite par rapport à la longueur totale du divergent et de l'ordre du centimètre

et que la section superelliptique de la tuyère, dans cette zone de raccordement, satisfait également à la même équation, énoncée plus haut, que dans la partie aval du divergent.

On a réalisé à partir des indications ci-dessus des tuyères présentant dans leur section de sortie un écoulement remarquablement homogène, les écarts relatifs de pression sur la partie plane 4 restant inférieurs à 1,5 %.

Divers calculs de simulation ont été effectués et ont permis de vérifier cette excellente homogénéité de l'écoulement.

Un premier jeu de calcul a été effectué à l'aide d'un code d'écoulement non visqueux permettant le calcul du col à l'équilibre chimique et vibrationnel et du divergent, soit à l'équilibre, soit en déséquilibre, soit en condition figée. Les résultats montrent que l'écoulement se fige rapidement après le col pour toutes les conditions d'essai.

Des calculs tridimensionnels ont été effectués avec le code d'écoulement visqueux dans le cas d'un gaz parfait ($\gamma = 1,4$). L'accord avec les calculs monodimensionnels est excellent. L'écoulement dans la section de sortie est très homogène, les écarts relatifs de pression sur la partie plane restant inférieurs à 1,5 %.

Des calculs tridimensionnels effectués en écoulement visqueux avec simulation en gaz parfait ($\gamma = 1,2$) d'un gaz réel à l'équilibre, conduisent aux mêmes conclusions d'un écoulement peu perturbé et homogène dans la section de sortie ($\Delta P/P = 1\%$ le long de la partie plane).

Ces calculs visqueux ont été complétés en imposant à l'entrée du convergent un tourbillon initial simulant celui généré par le fonctionnement du générateur de plasma. L'effet du vortex est annulé par l'accélération de la vitesse longitudinale et on retrouve un écoulement très homogène dans le plan de sortie ($\Delta P/P = 1\%$ le long de la partie plane).

Des calculs de couche limite turbulente ont complété et confirmé les résultats précédents. Ces calculs ont été effectués pour différentes hypothèses d'écoulement, soit à l'équilibre ($\gamma = 1,2$), soit figé ($\gamma = 1,4$) et des modélisations plaque plane et axisymétrique.

Une comparaison avec l'hypothèse d'une couche limite laminaire plaque plane à l'équilibre, permet de confirmer l'existence d'une couche limite dont l'épaisseur est fonction de l'abscisse X, qui diminue ainsi la section de passage du fluide dans la tuyère, ce qui a pour effet d'augmenter les niveaux de pression et de température dans le noyau non visqueux.

S'il s'avère que l'épaisseur de la couche limite devient trop importante à la sortie de la tuyère compte-tenu notamment des spécifications d'essais des éprouvettes, il peut être avantageux de réduire la longueur du divergent tout en augmentant le rapport entre la section de sortie de la tuyère et la section du col,

ce rapport se situant par exemple entre 25 et 45, en augmentant la pente de la génératrice G1 qui peut se situer entre $0,75^\circ$ et $1,3^\circ$ ainsi que celle de la génératrice G'2 laquelle demeure néanmoins inférieure ou égale à 10° , par exemple entre 6 et 10° .

Compte-tenu des conditions d'essais des éprouvettes 6, à savoir une pression statique comprise entre 7,5 mb et 22 mb et un flux thermique compris entre 100 Kw/m^2 et 350 Kw/m^2 à la température de paroi de 1200°K et des conditions génératrices relatives au plasma, à savoir une enthalpie réduite (H_i/RTo) comprise entre 50 et 135 et une pression P_i comprise entre 1b et 14b, on a conçu une tuyère présentant un divergent d'une longueur de 0,9 m comptée à partir du col, avec, en sortie, un petit axe de 0,07 m et un grand axe d'environ 0,35 m, avec une génératrice de petit axe G1 présentant une pente de $1,3^\circ$, une génératrice de grand axe G'2 présentant une pente de $7,735^\circ$, avec un rapport section de sortie/section de col égal à 33,9 pour une section de col de 7 cm^2 .

La figure 6 représente (en quart de section) la sortie S'1 d'une telle tuyère, en S'2 la section du divergent correspondant à un rapport de 9,45 vis à vis de la section du col, en S'3 une section de rapport 2 et en S'4 une section circulaire de rapport 2,8 réalisée dans la partie convergente de la tuyère. Les sections S'1 à S'4 sont prises respectivement à des abscisses le long de l'axe X'X de la tuyère de 0,90 m, 0,35 m, 0,07 m et -0,02 m.

La longueur du divergent n'est pas une valeur critique et dépend des dimensions de la chambre d'essais et des éprouvettes ; par contre, les valeurs des pentes des génératrices de petit axe et de grand axe, ainsi que le rapport section de sortie/section de col sont des valeurs caractéristiques et déterminantes de la tuyère selon l'invention, ainsi bien entendu que les équations déterminant les sections superelliptiques du divergent, y compris dans la zone de raccordement avec la région axisymétrique du col.

Des essais effectués avec une telle tuyère pour différents couples de conditions génératrices (P_i et H_i/RTo) ont donné une bonne concordance avec les spécifications d'essai imposées, pour ce qui concerne les niveaux de pression obtenus en sortie de tuyère et un niveau satisfaisant pour ce qui concerne les flux de chaleur à la paroi.

Enfin, l'invention n'est évidemment pas limitée aux modes de réalisation représentés et décrits ci-dessus mais en couvre au contraire toutes les variantes notamment en ce qui concerne les paramètres dimensionnels caractéristiques du divergent, en particulier les génératrices de petit axe et de grand axe, la longueur du divergent et le rapport de la section de sortie à la section du col, lesquels paramètres peuvent varier sensiblement selon les spécifications d'essai notamment, sans sortir pour autant du cadre de l'invention.

Revendications

1. Tuyère à profil interne adapté aux essais à haute température d'éprouvettes ou analogues du type "planche plane", caractérisée en ce qu'elle est constituée, d'une part, d'un convergent (1) et d'une région du col (2) axisymétriques et, d'autre part, d'un divergent (3) de section superelliptique s'appuyant sur deux génératrices rectilignes prises dans deux plans perpendiculaires, l'une (G1), dite de petit axe, dont la pente est de l'ordre de 1° et, l'autre (G2), dite de grand axe, dont la pente est de l'ordre de 10°, les extrémités aval des génératrices circulaires correspondantes de la région du col étant raccordées auxdites génératrices de petit axe et de grand axe par une courbe dont l'équation est telle que les dérivées première et seconde sont continues et la dérivée troisième est monotone, en vue d'éviter ou réduire les problèmes de recompression et éventuellement de formation de chocs. 5 10
2. Tuyère suivant la revendication 1, caractérisée en ce que ladite section superelliptique est une courbe d'équation :

$$[Y/R_1(X)]^2 + [Z/R_2(X)]^{N(X)} = 1$$
 dans laquelle :
 - $R_1(X)$ et $R_2(X)$ sont les distances radiales à l'abscisse X desdites génératrices de petit axe (G1) et de grand axe (G2) respectivement ;
 - Y et Z sont les coordonnées d'un point du divergent (3);
 - $N(X)$ est l'exposant superelliptique, cet exposant présentant une courbe de variation ayant une forme évoluant de façon croissante depuis la valeur 2 jusqu'à une valeur supérieure permettant d'obtenir la planéité recherchée en sortie de tuyère. 15 20 25 30 35 40
3. Tuyère suivant la revendication 1 ou 2, caractérisée en ce qu'au moins la génératrice de grand axe est décalée (G'2) d'une valeur ε et la courbe reliant les extrémités amont de ladite génératrice respectivement avant décalage (E_0) et après décalage (E_1) est déterminée à partir d'un polynôme de degré 4 du type :

$$F(X) = A(X - X_1)^4 + B(X - X_1)^3 + aX + b - \varepsilon$$
 dans lequel A et B sont des constantes et $aX + b - \varepsilon$ est l'équation de la génératrice de grand axe (G'2) après décalage, l'origine des abscisses étant comptée à partir du col (2), la valeur X_0 , abscisse de l'extrémité amont de ladite génératrice, avant décalage, étant choisie et les valeurs ε , X et X_1 , abscisse de l'extrémité amont de ladite génératrice, après décalage, étant calculées d'après le polynôme ci-dessus, afin d'assurer la continuité des dérivées première et seconde au 45 50 55

point E_0 ainsi que la stricte monotonie de la dérivée troisième entre E_0 et E_1 .

4. Tuyère suivant l'une des revendications 1 à 3, caractérisée en ce que la courbe de variation de l'exposant superelliptique $N(X)$ présente des dérivées première et seconde sensiblement nulles aux deux valeurs extrêmes de l'exposant et étant monotone croissante en comportant un point d'inflexion intermédiaire. 5 10
5. Tuyère suivant la revendication 4, caractérisée en ce que la courbe de variation de l'exposant superelliptique $N(X)$ est un polynôme de degré 5. 15
6. Tuyère suivant l'une des revendications 1 à 5, caractérisée en ce que l'exposant superelliptique varie entre les valeurs 2 et 20. 20
7. Tuyère suivant l'une des revendications 1 à 6, caractérisée par les valeurs dimensionnelles suivantes :
 - divergent de section superelliptique s'appuyant sur une génératrice de petit axe de pente comprise entre 0,75 et 1,3° et sur une génératrice de grand axe de pente comprise entre 6 et 10°.
 - rapport de la section de sortie sur la section de col compris entre 25 et 45 ;
 - section de sortie comprenant deux parties pratiquement rectilignes de longueur comprise entre 0,30 et 0,40 m raccordées par des courbes sensiblement semi-elliptiques, le petit axe de la section de sortie ayant une longueur comprise entre 0,05 et 0,8 m. 25 30 35 40 45 50 55

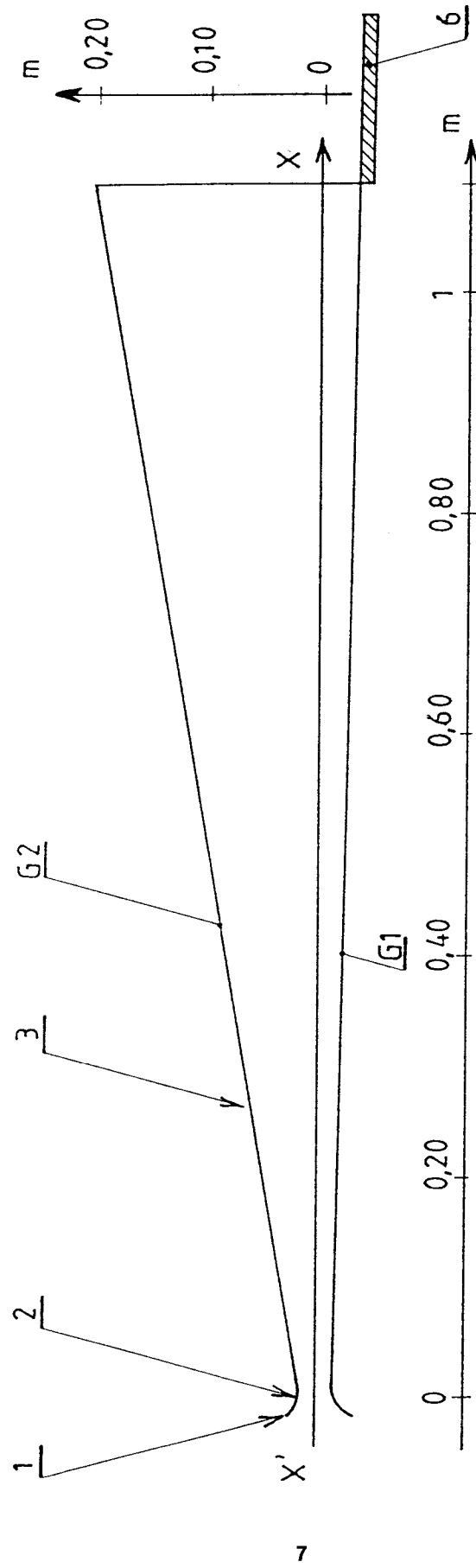


FIG.1 -

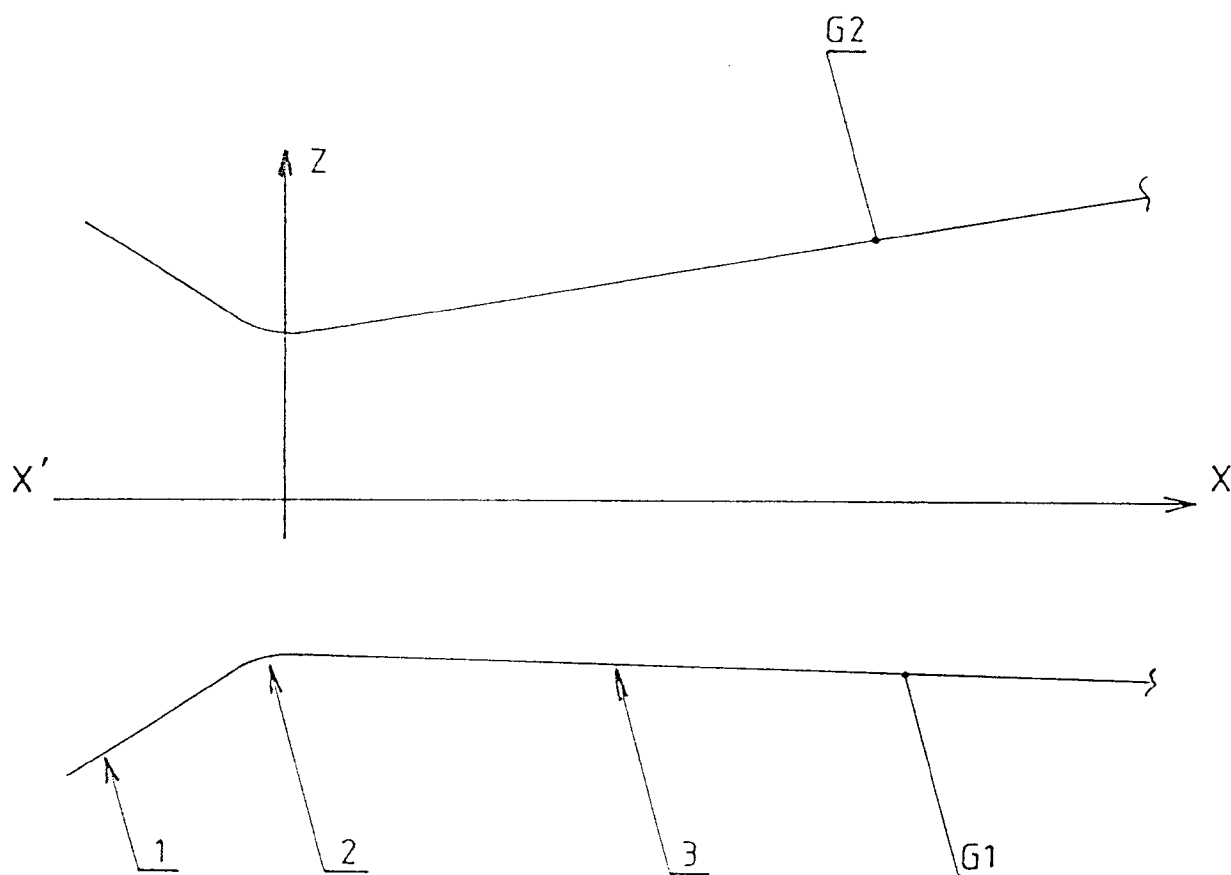


FIG. 2 -

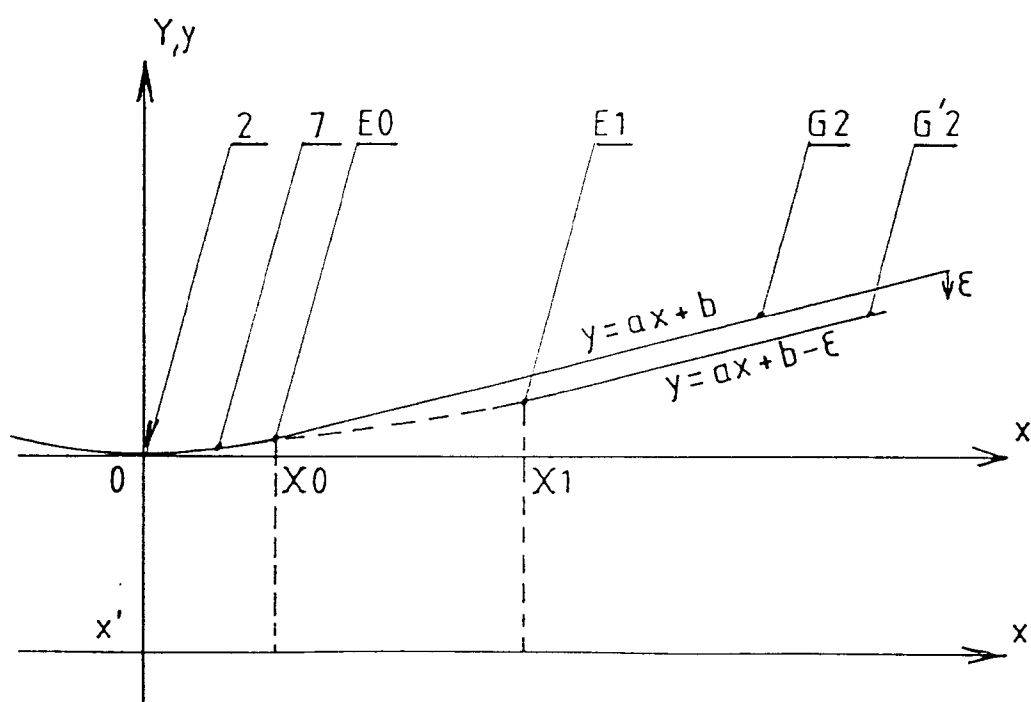


FIG. 7 -

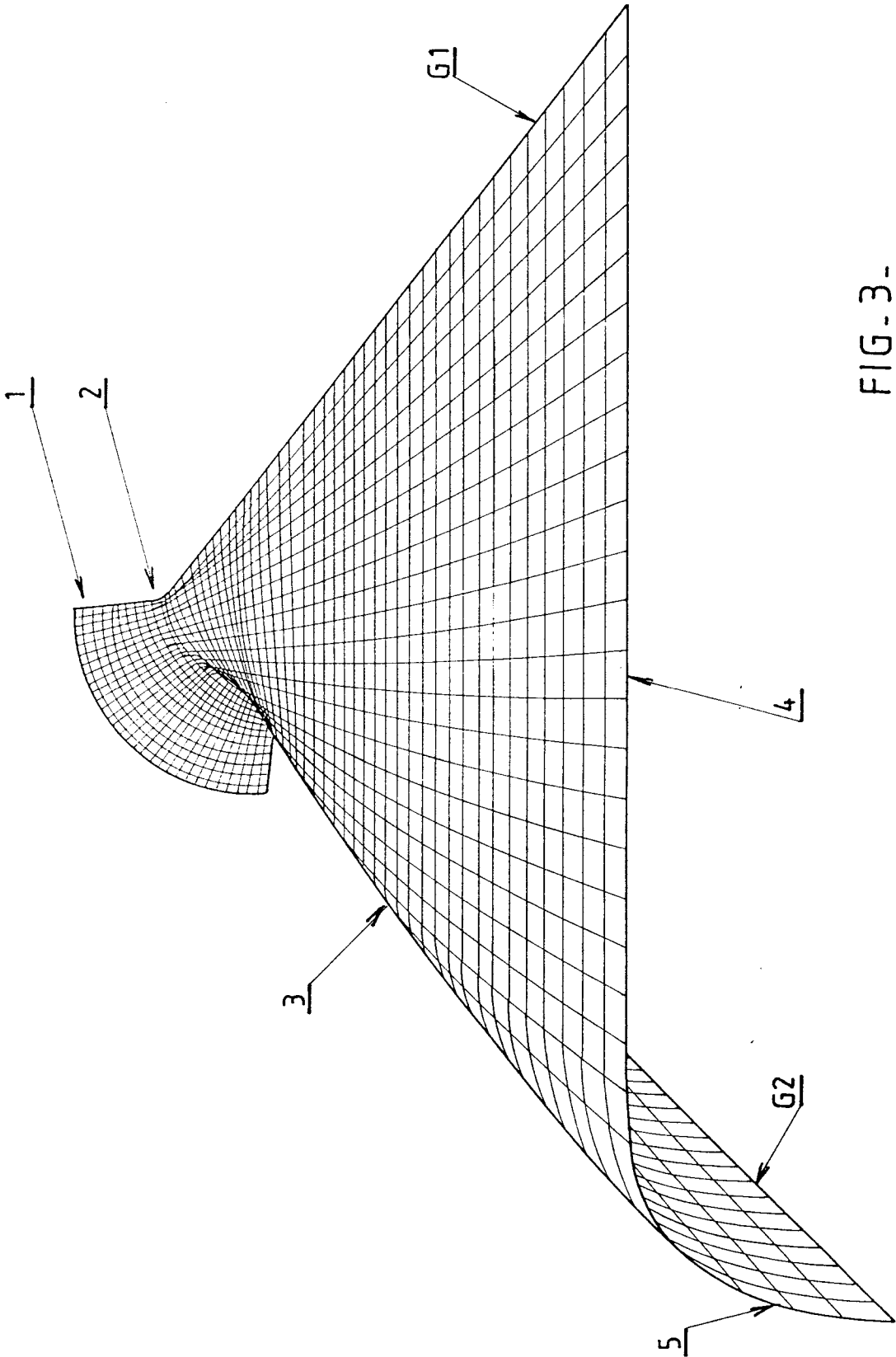


FIG. 3-

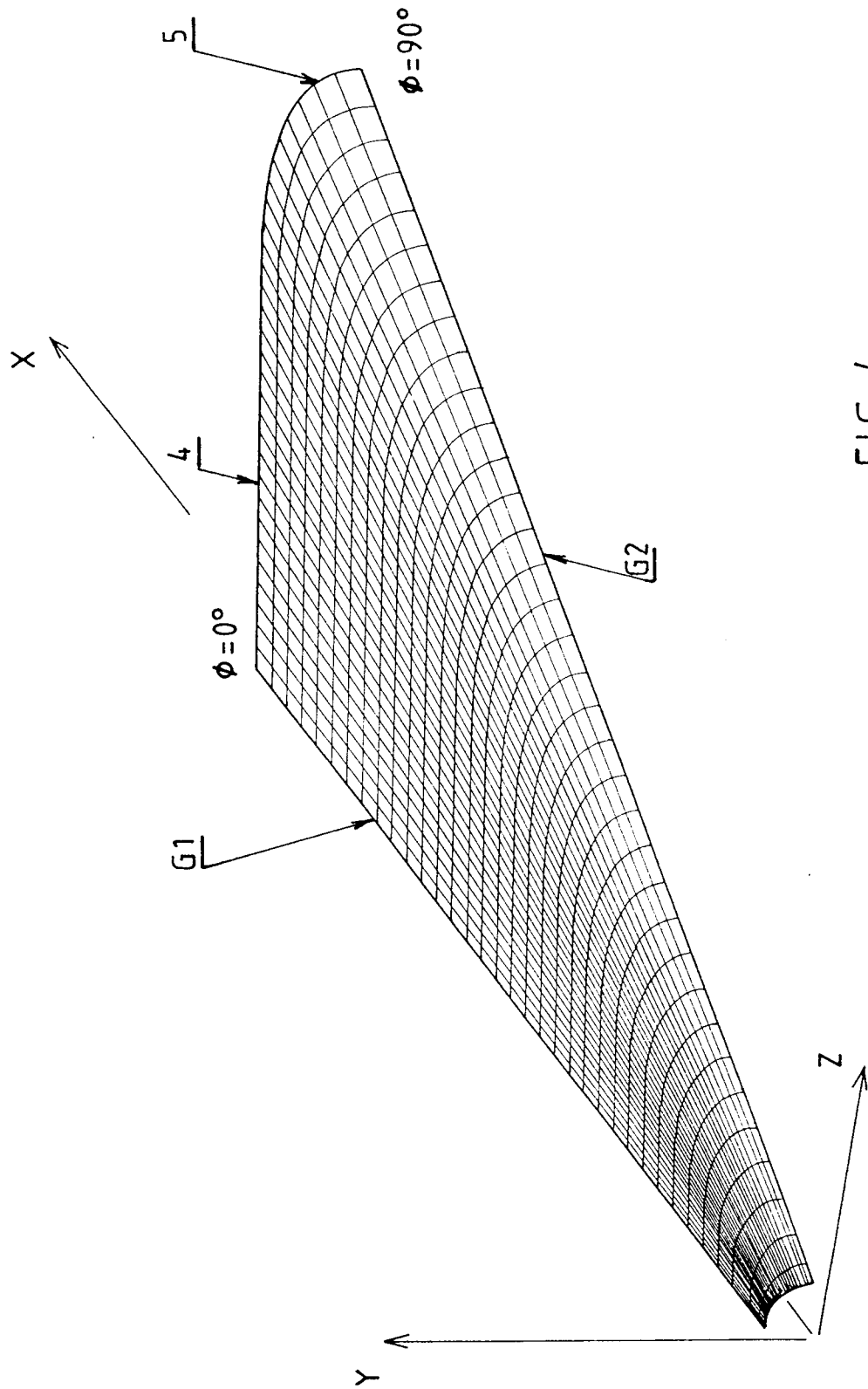


FIG. 4.

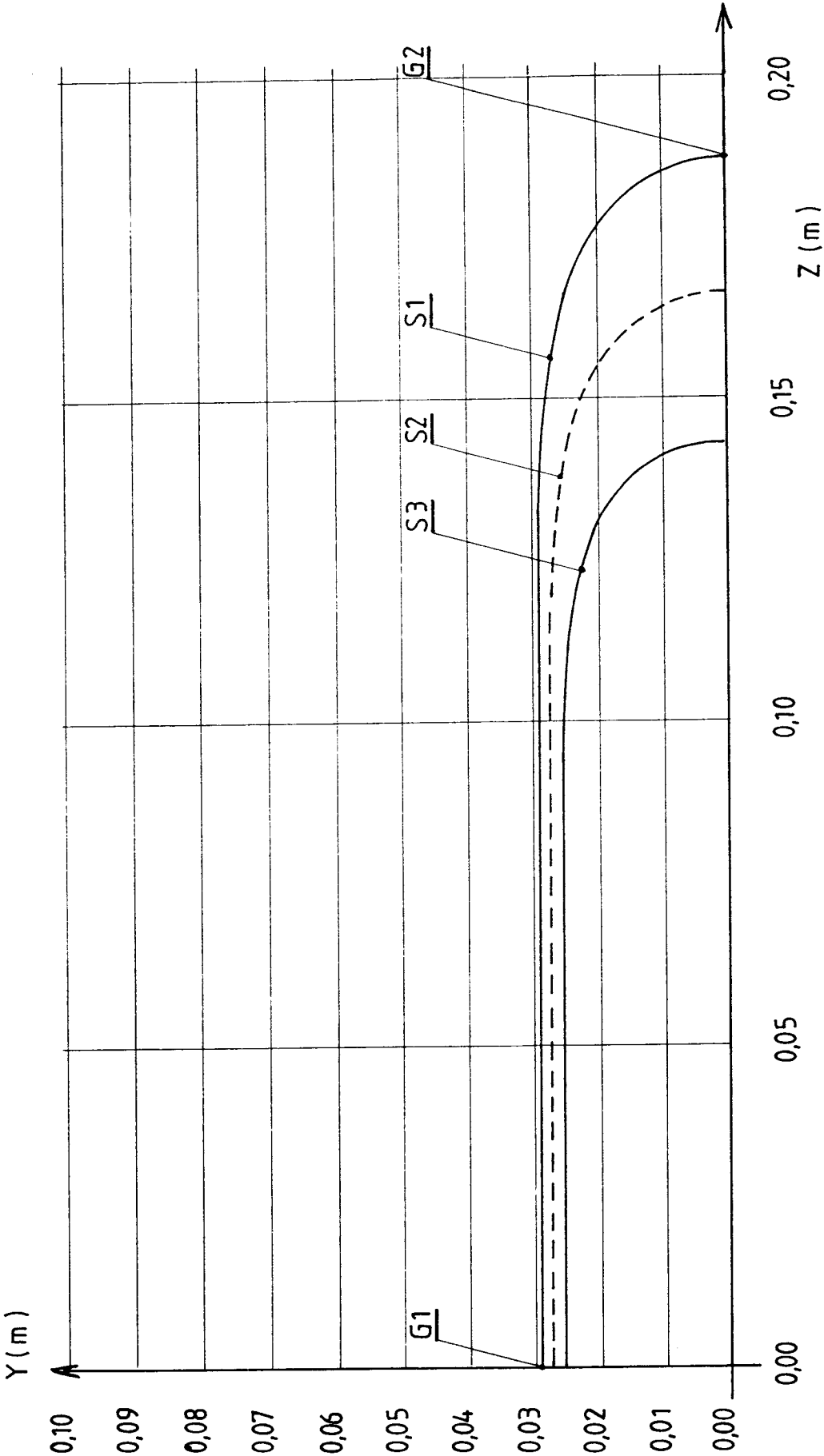


FIG-5 -

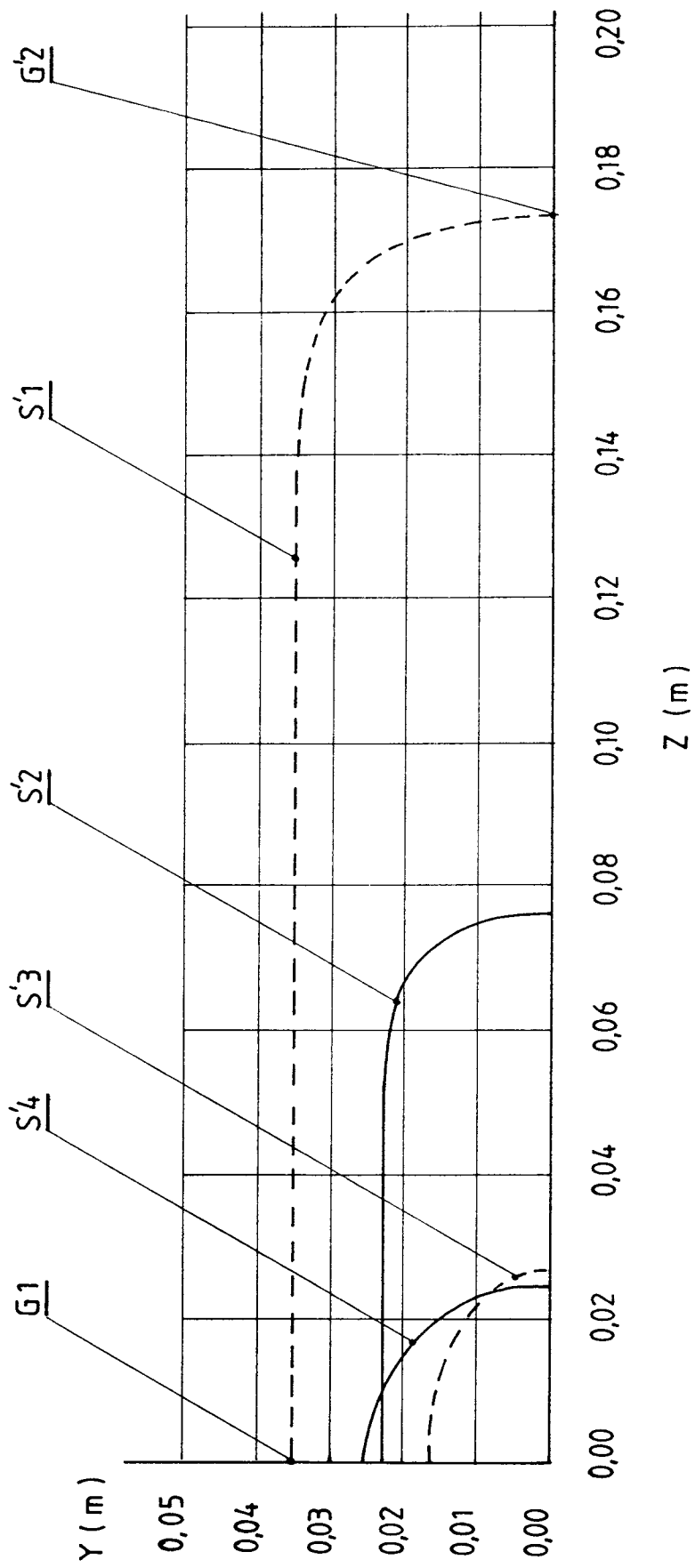


FIG-6 -



Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numero de la demande

EP 92 45 0006

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int. Cl.5)
A	US-A-3 189 321 (DEVILLARD ET AL.) * le document en entier * ---	1,7	H05H1/26 H05H1/34
A	US-A-3 239 130 (C.H. NAUNDORF) * colonne 2, ligne 57 - ligne 65; figure 1 * ---	1,7	
A	US-A-4 577 461 (G. L. CANN) * colonne 1, ligne 6 - ligne 10 * * colonne 11, ligne 55 - colonne 12, ligne 27 * * figure 1 * ---	1,7	
A	JOURNAL OF AMERICAN INSTITUTE OF AERONAUTICS AND ASTRONAUTICS vol. 23, no. 10, Octobre 1985, NEW YORK US pages 1497 - 1505; MARCUM ET AL.: 'CALCULATION OF THREE-DIMENSIONAL FLOWFIELDS BY THE UNSTEADY METHOD OF CHARACTERISTICS' * abrégé * ---	1-6	
A	RECHERCHE AEROSPATIALE no. 5, 9 Octobre 1974, FRANCE pages 261 - 276; FENAIN ET AL.: 'FLOW CALCULATION OF CONVERGENT PROPULSIVE NOZZLES - COMPARISON WITH EXPERIMENT' ---		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl.5)
A	APPLIED MATHEMATICAL MODELLING vol. 7, no. 2, Avril 1983, UK pages 123 - 127; RIZK ET AL.: 'SEMI-ELLIPTIC COMPUTATION OF AN AXISYMMETRIC TRANSONIC NOZZLE FLOW' ---		F02K F01D H05H F03H
A	1969 EUROPEAN MICROWAVE CONFERENCE 1970, IEE, LONDON, UK pages 277 - 280; T. LARSEN: 'SUPERELLIPTIC BROADBAND TRANSITION BETWEEN RECTANGULAR AND CIRCULAR WAVEGUIDES' -----		
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 28 AOÛT 1992	Examineur CAPOSTAGNO E.
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	
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			

EPO FORM 1503 01.82 (P0402)