

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

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

2 945 581

②1 N° d'enregistrement national : 09 53238

⑤1 Int Cl<sup>8</sup> : F 02 K 9/97 (2006.01)

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 15.05.09.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la  
demande : 19.11.10 Bulletin 10/46.

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 :

⑦1 Demandeur(s) : SNECMA — FR.

⑦2 Inventeur(s) : PYRE ALAIN.

⑦3 Titulaire(s) : SNECMA.

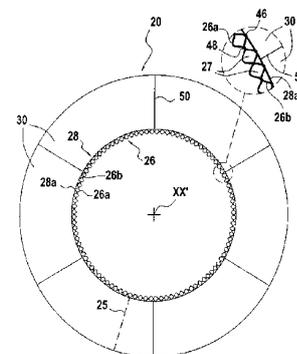
⑦4 Mandataire(s) : CABINET BEAU DE LOMENIE.

⑤4 DIVERGENT DE MOTEUR POUR UN VEHICULE CAPABLE DE SE DEPLACER DANS L'AIR OU DANS  
L'ESPACE ET SON PROCEDE DE FABRICATION.

⑤7 L'invention concerne un divergent (20) de moteur pour  
un véhicule capable de se déplacer dans l'air ou dans l'es-  
pace.

De façon caractéristique, il comporte une paroi externe  
(28) formée d'une tôle externe (28a) et une paroi interne  
(26) formée de deux tôles ondulées comportant une tôle in-  
terne (26a) et une tôle intermédiaire (26b), les ondulations  
étant parallèles aux méridiens (25) du divergent (20) et en  
opposition de phase entre les deux tôles ondulées, les deux  
tôles ondulées étant reliées l'une à l'autre par les sommets  
des ondulations qui se trouvent en contact, ce par quoi des  
canaux (27) parallèles aux méridiens (25) du divergent (20)  
sont délimités entre les deux tôles ondulées de la paroi in-  
terne (26) pour la circulation d'un fluide de refroidissement.  
La paroi externe (28) et la paroi interne (26) sont reliées  
l'une à l'autre.

Application à un moteur-fusée.



FR 2 945 581 - A1



L'invention concerne un divergent de moteur pour un véhicule capable de se déplacer dans l'air ou dans l'espace (ou vide), et son procédé de fabrication.

5 L'invention concerne plus particulièrement un divergent de moteur d'aéronef, d'astronef ou de fusée notamment un divergent de moteur pour un moteur-fusée.

10 Ce divergent présente une symétrie de révolution autour d'un axe de révolution, avec une ligne génératrice de forme générale courbe définissant les méridiens, dont la courbure est dirigée vers l'axe de révolution, et dont la distance par rapport à l'axe de révolution augmente entre l'entrée et la sortie du divergent. Une telle augmentation est monotone ou non.

15 On peut envisager plus généralement que ce divergent présente une ligne génératrice non entièrement courbe, selon une multitude de profils possibles, pourvu que cette distance par rapport à l'axe de révolution soit plus grande pour la sortie que pour l'entrée du divergent.

20 Dans le cas d'un moteur-fusée, un tel divergent, qui forme la partie inférieure (aval) de la tuyère, assure par son fort évasement l'évacuation et l'accélération des gaz brûlés en régime supersonique, ce qui crée la poussée du moteur.

L'échauffement induit par cet écoulement nécessite un refroidissement des parois du divergent, qui sinon seraient détruites.

25 Actuellement, en particulier dans les moteurs cryotechniques, on rencontre des divergents réalisés selon l'une ou l'autre des techniques suivantes :

- divergents métalliques refroidis, réalisés en général en superalliage, par exemple de type Inconel (marque déposée) :

30 • Divergents à tubes : Ils sont constitué de tubes enroulés en hélice et refroidis par circulation d'hydrogène, selon le procédé de « dump cooling ». Ces tubes de section constante (de forme carrée ou autre) sont soudés « bord à bord » sur le côté extérieur du divergent avec un enroulement en spirale, afin de constituer à eux-seuls le divergent ;

35 • Divergents sandwich : dans ce cas, de l'hydrogène circule dans des canaux situés suivant les méridiens du divergent. Pour la fabrication, les canaux sont usinés dans la paroi interne du divergent. Pour

finaliser la délimitation de ces canaux, un soudage au laser est réalisé le long de ces canaux entre la paroi interne et une coque disposée à l'extérieur. Ensuite, pour finaliser, de la matière est localement rajoutée à l'extérieur par soudage au laser.

5 - divergents non-métalliques radiatifs : il s'agit d'un divergent déployable en deux parties, une partie supérieure étant métallique et refroidie par l'hydrogène liquide et l'autre partie inférieure étant en matériau composite thermostructural (notamment en « CMC » ou composite à matrice céramique), ce qui lui donne une très grande légèreté.

10 Ces techniques présentent toutes l'inconvénient d'engendrer un coût de fabrication très important et un cycle de fabrication relativement long.

La présente invention a pour objectif de fournir un divergent de moteur plus facile à réaliser que dans l'art antérieur.

15 A cet effet, selon la présente invention, le divergent de moteur est caractérisé en ce qu'il comporte une paroi externe formée d'une tôle externe et une paroi interne formée de deux tôles ondulées comportant une tôle interne et une tôle intermédiaire, les ondulations étant parallèles aux méridiens du divergent et en opposition de phase entre les deux tôles ondulées, les deux tôles ondulées étant reliées l'une à l'autre par les sommets des ondulations qui se trouvent en contact, ce par quoi des canaux parallèles aux méridiens du divergent sont délimités entre les deux tôles ondulées de la paroi interne pour la circulation d'un fluide de refroidissement et en ce que la paroi externe et la paroi interne sont  
20 reliées l'une à l'autre.

Ainsi, on comprend que le divergent est délimité par cette paroi externe simple et par cette paroi interne double ondulée.

30 Une telle structure est à la fois légère et suffisamment rigide pour résister aux sollicitations thermomécaniques auxquelles le divergent est soumis pendant le fonctionnement du moteur.

Cette structure permet en outre de faire circuler un fluide de refroidissement entre les deux tôles ondulées de la paroi interne, et éventuellement entre la paroi interne et la paroi externe.

35 En outre, le procédé de fabrication d'un tel divergent est simple à mettre en œuvre.

A cet effet, la présente invention porte sur un procédé de fabrication d'un élément destiné à former un secteur angulaire de divergent de moteur pour un véhicule capable de se déplacer dans l'air ou dans l'espace, caractérisé en ce que l'on met en œuvre les étapes suivantes :

- 5
- on fournit trois portions de tôle plate comprenant une portion de tôle externe, une portion de tôle interne et une portion de tôle intermédiaire, chaque portion de tôle plate ayant une forme de trapèze avec un écart identique et constant entre les côtés parallèles du trapèze, lesdits côtés
  - 10 parallèles étant orthogonaux à une direction longitudinale dudit élément ;
  - on emboutit chaque portion de tôle selon un profil tridimensionnel correspondant au profil tridimensionnel du secteur angulaire du divergent et présentant un bord supérieur et un bord inférieur parallèles entre eux et auxdits côtés parallèles du trapèze, le profil tridimensionnel utilisé pour
  - 15 emboutir la portion de tôle interne et le profil tridimensionnel utilisé pour emboutir la portion de tôle intermédiaire présentant en outre des ondulations parallèles entre elles et s'étendant entre les bords supérieur et inférieur du profil tridimensionnel, de sorte qu'après emboutissage la
  - 20 portion de tôle interne et la portion de tôle intermédiaire forment deux portions de tôles ondulées,
  - les trois portions de tôles embouties sont superposées selon le profil tridimensionnel, les ondulations des deux portions de tôles ondulées étant disposées en opposition de phase l'une contre l'autre et la surface de ladite portion de tôle externe étant disposée contre la portion de tôle
  - 25 intermédiaire, et
  - les trois portions de tôles superposées sont assemblées par soudage, d'une part par les sommets des ondulations des deux portions de tôles ondulées qui se trouvent en contact, ce par quoi des canaux sont délimités entre les deux portions de tôles ondulées, et d'autre part entre la portion
  - 30 de tôle externe et la portion de tôle intermédiaire.

Egalement, la présente invention porte sur un procédé de fabrication d'un divergent de moteur pour un véhicule capable de se déplacer dans l'air ou dans l'espace, caractérisé en ce que l'on met en œuvre les étapes suivantes :

- 35
- on fournit des éléments fabriqués selon le procédé précédemment décrit, et

- on assemble lesdits éléments par soudage le long du bord latéral de chaque portion de tôle emboutie correspondante de deux éléments voisins.

5 De cette manière, on comprend que par le fait que l'on fabrique des éléments identiques destinés chacun à former un secteur angulaire de divergent de moteur, du fait de leur taille plus faible que celle du divergent complet, il est facile de manipuler ces éléments lors de leur fabrication de sorte que leur fabrication est aisée et plus précise.

10 Cet avantage est d'autant plus marqué pour les divergents de grande taille, notamment pour les divergents de moteur-fusée.

Ainsi, on obtient des éléments destinés chacun à former un secteur angulaire de divergent de moteur qui sont tout à fait identiques (les parois sont d'épaisseur constante) et qui résulte d'étapes facilement automatisables par des procédés industriels classiques.

15 D'autres avantages et caractéristiques de l'invention ressortiront à la lecture de la description suivante faite à titre d'exemple et en référence aux dessins annexés dans lesquels :

- la figure 1 est une vue générale en perspective d'un divergent selon l'invention,

20 - la figure 2 est une vue partielle en projection axiale du divergent selon la direction II de la figure 1,

- la figure 3 est une vue en coupe transversale du divergent selon la direction III de la figure 1,

25 - la figure 4 représente la forme des portions de tôle plate utilisées pour la fabrication d'un élément destiné à former un secteur angulaire de divergent,

- la figure 5 est une vue en perspective illustrant la déformation appliquée à chaque portion de tôle lors de l'opération d'emboutissage du procédé de fabrication d'un élément,

30 - la figure 6 est une vue en perspective représentant la superposition des trois portions de tôles embouties pendant le procédé de fabrication d'un élément,

- les figures 7A, 7B et 7C représentent des détails agrandis des zones VIIA, VIIB et VIIC de la figure 6,

- la figure 8 est une vue en coupe transversale déployée d'un élément après soudage des trois portions de tôles embouties et superposées, déployée selon une direction rectiligne,
  - la figure 9 est une vue en coupe depuis la direction IX de la figure 8,
  - la figure 10 illustre un exemple de position utilisée entre les bords latéraux des portions de tôles correspondantes de deux éléments voisins lors de l'assemblage des éléments constituant le divergent,
  - la figure 11 illustre le profil d'un méridien (à gauche) et la variation de l'écart ou longueur d'onde des ondulations des tôles ondulées le long de l'axe du divergent (à droite),
  - la figure 12 représente l'évolution qualitative de la pression et de la température à l'intérieur du divergent (à gauche) et entre les deux tôles ondulées de la paroi interne (à droite), ainsi que (au milieu) le profil du méridien du divergent, et
  - la figure 13 illustre un autre exemple de position utilisée entre les bords latéraux des portions de tôles correspondantes de deux éléments voisins lors de l'assemblage des éléments constituant le divergent.
- Si l'on se reporte à la figure 1, est représenté un divergent de moteur fusée 20 selon l'invention qui présente une forme de révolution autour de l'axe X-X' et dont le diamètre augmente entre son entrée 22 et sa sortie 24, qui sont toutes les deux ouvertes pour le passage des gaz brûlés. Plus précisément, quelle que soit la configuration, le diamètre de l'entrée 22 est plus petit que le diamètre de la sortie 24.
- Le divergent 20 résulte de l'assemblage par soudage de plusieurs éléments 30 identiques délimitant chacun un secteur angulaire du divergent s'étendant sur un angle au centre A.
- A titre d'exemple non limitatif, A est de l'ordre de 60° de sorte que dans ce cas six éléments 30 permettent de constituer le divergent 20.
- Les éléments 30 sont assemblés entre eux par soudage le long de leurs bords latéraux qui correspondent à un méridien 25 du divergent, ce méridien 25 suivant la ligne génératrice qui définit le profil du divergent 20.

L'espace intérieur du divergent 20 est délimité (voir la figure 3) par une paroi interne 26 formée de deux tôles ondulées assemblées et comportant une tôle interne 26a et une tôle intermédiaire 26b.

5 Les deux tôles ondulées 26a et 26b sont pratiquement identiques : elles présentent la même longueur d'onde pour les ondulations qui sont parallèles aux méridiens 25 du divergent et qui sont placées en opposition de phase entre la tôle interne 26a et la tôle intermédiaire 26b. Les deux tôles ondulées 26a et 26b peuvent présenter ou non la même épaisseur.

10 De préférence, chacune des tôles parmi la tôle externe 28a, la tôle interne 26a et la tôle intermédiaire 26b présente une épaisseur sensiblement constante sur toute sa surface. Dans ce cas, on a, de préférence, une épaisseur de tôle différente entre la tôle externe 28a, la tôle interne 26a et la tôle intermédiaire 26b.

15 De préférence, les deux portions de tôles ondulées 26a et 26b sont reliées l'une à l'autre tout le long des sommets des ondulations qui se trouvent en contact par des zones de soudage 48 (voir la figure 9). Ainsi, la tôle interne 26a et la tôle intermédiaire 26b forment deux tôles ondulées qui sont assemblées entre elles par soudage tout le long des  
20 sommets des ondulations qui se trouvent en contact (zones de soudage 48, voir également les figures 8 et 9). A titre d'alternative à des zones de soudage 48 continues (Figure 9), il est possible de réaliser entre les sommets des ondulations en contact de la tôle interne 26a et de la tôle intermédiaire 26b, des zones de soudage 48 ponctuelles ou par tronçons.  
25 Une telle alternative peut s'avérer suffisante pour permettre un refroidissement convenable de la paroi interne 26.

De cette façon, la paroi interne 26 délimite des canaux 27 s'étendant globalement en direction axiale et qui sont parallèles aux méridiens 25 du divergent 20, entre les deux tôles ondulées 26a et 26b,  
30 pour la circulation d'un fluide de refroidissement, notamment de l'hydrogène liquide.

La paroi interne 26 est recouverte d'une paroi externe 28 formée d'une tôle externe 28a dont les faces sont parallèles entre elles et suivent le contour du divergent 20.

35 La paroi interne 26 et la paroi externe 28 sont reliées l'une à l'autre par des zones de soudage 46 (ponctuelles, par tronçons -voir les

figures 8 et 9- ou continues) dirigées suivant l'axe X-X' du divergent 20. Cette liaison est mise en œuvre par soudage comme il sera exposé ci-après plus en détails.

5 On va maintenant présenter le procédé de fabrication d'un élément 30.

10 On découpe dans une tôle lisse, généralement plane d'une part une portion de tôle interne 36a' et une portion de tôle intermédiaire 36b' présentant une première forme de trapèze B et d'autre part une portion de tôle externe 38a' présentant une deuxième forme de trapèze C (voir figure 4). Cette deuxième forme de trapèze C présente, entre ses deux côtés parallèles, un écart identique (L) à celui présent entre les côtés parallèles de la première forme de trapèze B. Ces trois tôles de départ sont avantageusement réalisées dans le même matériau s'agissant de la découpe de la portion de tôle interne 36a', de la portion de tôle intermédiaire 36b' et de la portion de tôle externe 38a', en particulier un superalliage à base de nickel, par exemple de type Inconel (marque déposée). On peut également prévoir deux ou trois matériaux différents pour les trois tôles de départ et donc pour la portion de tôle interne 36a', la portion de tôle intermédiaire 36b' et la portion de tôle externe 38a'.

20 De préférence, la portion de tôle interne 36a' et la portion de tôle intermédiaire 36b' présentent un contour identique et de même dimension. Comme illustré sur la figure 4 représentant la forme préférentielle, ces portions de tôle 36a' et 36b' présentent une première forme de trapèze B de longueur L, les côtés parallèles (bases) présentant une longueur l1 (petit côté) et l2 (grand côté). La longueur L de la première forme de trapèze B et de la deuxième forme de trapèze C est plus grande que la hauteur H du divergent 20 et correspond sensiblement à l'étendue longitudinale des parois du divergent 20 suivant un méridien 25.

30 La portion de tôle externe 38a' présente la deuxième forme de trapèze C, qui présente une longueur L égale à celle de la première forme de trapèze et les côtés parallèles (bases) présentent respectivement une longueur l3 (petit côté) et l4 (grand côté), avec l3 plus faible que l1 et l4 plus faible que l2.

35 La longueur largeur l3 du petit côté parmi les deux côtés parallèles de la deuxième forme de trapèze C est sensiblement égale à

l'étendue circonférentielle de la portion de secteur angulaire correspondante du diamètre de l'entrée 22 du divergent 20. De la même façon, la largeur l4 du grand côté parmi les deux côtés parallèles de la deuxième forme de trapèze C est sensiblement égale à l'étendue  
5 circonférentielle de la portion de secteur angulaire correspondante du diamètre de la sortie 24 du divergent 20.

Ensuite, comme illustré sur la figure 5, les trois portions de tôle plate 36a', 36b' et 38a' sont embouties selon un profil tridimensionnel 40 identique, formant une portion de coque, dont le contour s'inscrit dans le  
10 secteur angulaire d'angle au centre A.

Plus précisément, ce profil tridimensionnel 40 présente des bords latéraux 41 et 42 s'appuyant sur les deux plans passant par l'axe X-X' et définissant le secteur angulaire d'angle au centre A, un bord supérieur 43 qui va définir une portion de l'entrée 22 et forme un arc de  
15 cercle du diamètre de l'entrée 22, et un bord inférieur 44 qui va définir une portion de la sortie 24 et forme un arc de cercle du diamètre de la sortie 24.

Lors de cette étape d'emboutissage, les trois portions de tôle 36a', 36b' et 38a' sont mises en forme selon le profil tridimensionnel 40 dans lequel l'étendue du bord inférieur 44 est égale à la longueur l4  
20 (grand côté) de départ de la deuxième forme de trapèze C et l'étendue du bord supérieur 43 est égale à la longueur l3 (petit côté) de départ de la deuxième forme de trapèze C

Lors de cette déformation, la portion de tôle externe 38a' ne subit pas d'étirement latéral ou longitudinal, son épaisseur n'étant pas modifiée : c'est l'écart entre la longueur l3 (petit côté) et la longueur l4  
25 (grand côté) de la deuxième forme de trapèze C qui permet de prendre en considération la variation très importante du diamètre entre l'entrée 22 et la sortie 24 du divergent 20.

Il faut relever que lors de l'opération d'emboutissage, les portions de tôle interne 36a' et de tôle intermédiaire 36b' sont déformées selon un profil tridimensionnel 40 modifié car il comporte, outre la courbure d'ensemble de la portion de divergent (Figure 5), des ondulations de la paroi interne 26, et ce pour parvenir aux portions de  
30 tôles embouties 36a, 36b représentées sur la figure 6 : on voit alors que la portion de tôle interne 36a, et la portion de tôle intermédiaire 36b ont  
35

alors la même forme (et sensiblement les mêmes dimensions) que la portion de tôle externe emboutie 38a issue de la portion de tôle externe plate 38a'.

5 En effet, les longueurs l1 et l2 ont été prévues pour qu'après formation des ondulations pendant l'étape d'emboutissage, elles aient « rétrécies » respectivement jusqu'aux valeurs l3 et l4 des côtés parallèles de la portion de tôle externe plate 38a', qui sont elles-mêmes égales aux valeurs l3 et l4 des côtés parallèles de la portion de tôle externe emboutie 38a.

10 Il s'ensuit (voir la figure 11) une variation de longueur d'onde des ondulations de la portion de tôle interne 36a et de la portion de tôle intermédiaire 36b, le long de la direction longitudinale de chaque élément 30 (parallèlement à l'axe X-X', ou d'amont en aval si l'on considère le sens d'écoulement des gaz).

15 En fait, on comprend que le nombre d'ondulations reste identique le long de la direction longitudinale de la portion de tôle interne 36a. De la même façon, le nombre d'ondulations reste identique le long de la direction longitudinale de la portion de tôle intermédiaire 36b. De préférence, le nombre d'ondulations de la portion de tôle interne 36a est  
20 le même que le nombre d'ondulations de la portion de tôle intermédiaire 36b. C'est le cas des deux portions de tôles ondulées 36a et 36b représentés sur les figures : elles présentent le même nombre d'ondulations et une variation de longueur d'onde identique.

25 La profondeur des ondulations de la portion de tôle interne 36a (et de la portion de tôle intermédiaire 36b) peut être constante ou varier : le choix de la longueur d'onde et de la profondeur va conditionner la section droite du canal de refroidissement qui est choisi par calcul, et peut varier d'amont en aval, tout en ayant une surface constante ou qui varie le de l'amont à l'aval.

30 Dans le cas des portions de tôles ondulées (portion de tôle interne 36a et portion de tôle intermédiaire 36b) représentées sur les figures, les ondulations sont parallèles aux méridiens 25. En outre, les ondulations des deux portions de tôles ondulées 36a et 36b présentent la même longueur d'onde et les portions de tôles ondulées 36a et 36b  
35 présentent la même épaisseur. Cependant, on peut disposer de tôles ondulées 36a et 36b qui présentent une épaisseur différente.

L'étape suivante, visible sur la figure 6 et sur les figures 7A, 7B et 7C, consiste à superposer exactement les trois portions de tôle 36a, 36b et 38a embouties selon le profil tridimensionnel 40 : la portion de tôle interne 36a est placée sous la portion de tôle intermédiaire 36b, les sommets de toutes ou partie des ondulations de la portion de tôle intermédiaire 36b venant en contact avec les sommets de toutes ou partie des ondulations de la portion de tôle interne 36a, et la portion de tôle intermédiaire 36b est placée sous la portion de tôle externe 38a qui va délimiter la surface extérieure de la chambre de combustion.

5  
10 Ensuite, intervient l'étape de soudage entre les trois portions de tôle 36a, 36b et 38a embouties et superposées.

Le résultat est visible sur les figures 8 et 9 (sur ces figures, les trois portions de tôle 36a, 36b et 38a ont été représentées déployées à plat, c'est-à-dire comme si elles étaient parallèles à un plan) qui sont décrites ci-après.

15 La portion de tôle externe 38a et la portion de tôle intermédiaire 36b sont reliées l'une à l'autre par des zones de soudage 46 qui sont dirigées suivant la direction longitudinale dudit élément 30, qui est parallèle à l'axe X-X' du divergent 20 lorsque ce dernier est constitué.

20 Ces zones de soudage 46, qui relient la face interne de la portion de tôle externe 38a aux sommets de toutes ou partie des ondulations de la portion de tôle intermédiaire 36b en contact avec cette face interne, sont soit ponctuelles, soit d'étendue longitudinale limitée (cas de la figure 9), soit continues sur toute la hauteur (direction longitudinale) des portions de tôle 38a et 36b.

25 La portion de tôle interne 36a et la portion de tôle intermédiaire 36b sont reliées l'une à l'autre par des zones de soudage 48 qui sont dirigées suivant la direction longitudinale dudit élément 30. Ces zones de soudage 48, qui relient entre eux les sommets, en contact, des ondulations de la portion de tôle interne 36a et de la portion de tôle intermédiaire 36b, sont soit ponctuelles, soit d'étendue longitudinale limitée, soit continues sur toute la hauteur (direction longitudinale) des portions de tôle 36a et 36b (voir la figure 9).

30 De cette façon, on délimite par ces zones de soudage 48 les canaux 27 de chaque élément 30 entre les portions de tôle 36a et 36b.

35

Les soudures peuvent être réalisées par différentes techniques classiques et notamment :

5 - les zones de soudage 48 peuvent par exemple être réalisées par soudage par point ou par soudage à la molette ; elles nécessitent alors un accès par les deux faces de l'empilement (paroi interne 26) constitué par les portions de tôles interne 36a et intermédiaire 36b de sorte que ces zones de soudage 48 qui permettent de constituer les canaux de refroidissement 27 doivent être réalisées avant de relier par soudure cet empilement (paroi interne 26) à la portion de tôle externe 38a (paroi  
10 externe 28) ;

- les zones de soudage 46 étant effectuées après obtention, par les zones de soudage 48, de l'empilement précité (paroi interne 26 constituée par les portions de tôles interne 36a et intermédiaire 36b), elles doivent être rendues possibles avec accès d'un seul côté (face extérieure  
15 d'un élément 30) : du soudage au laser ou un autre type de soudage (faisceau d'électrons...), ou encore du brasage est par exemple utilisé.

Alternativement, on peut procéder dans un autre ordre :

- en réalisant en premier lieu les zones de soudage 46 entre les portions de tôles externe 38a et intermédiaire 36b, par un accès par les  
20 deux faces de l'empilement constitué par les portions de tôles externe 38a et intermédiaire 36b, puis

- en réalisant en second lieu les zones de soudage 48 entre les portions de tôles interne 36a et intermédiaire 36b par l'intérieur (face intérieure d'un élément 30) de l'empilement constitué par les trois portions  
25 de tôles 36a, 36b et 38a.

Pour mettre en œuvre le procédé de fabrication du divergent 20 complet, on fournit des éléments 30 fabriqués selon le procédé qui vient d'être décrit, puis on assemble lesdits éléments 30 par soudage le long des bords latéraux 41 et 42 de chaque portion de tôle 36a, 36b et 38a  
30 correspondante de deux éléments 30 voisins.

De préférence, avant d'assembler deux éléments 30 voisins par soudage, on superpose le bord latéral (par exemple 41) d'au moins une portion de tôle emboutie 36a, 36b et 38a d'un élément 30 avec l'autre bord latéral (par exemple 42) de la portion de tôle emboutie 36a, 36b et  
35 38a correspondante de l'élément voisin 30 (voir la figure 10 pour les bords latéraux de deux portions de tôle interne 36a de deux éléments voisins

30). On peut prévoir de placer en superposition le bord latéral de chaque portion de tôle emboutie 36a, 36b et 38a d'un élément 30 avec l'autre bord latéral (par exemple 42) de la portion de tôle emboutie 36a, 36b et 38a correspondante de l'élément voisin 30.

5 Cette superposition facilite la réalisation du soudage entre les éléments 30 qui s'effectue de préférence tout le long des bords latéraux 41, 42 entre les portions de tôle 36a, 36b et 38a correspondantes.

10 Depuis l'extérieur du divergent 20, la ligne de soudage entre les éléments 30 voisins est visible en 50 (voir figures 1 et 3) au niveau des liaisons entre les bords latéraux de deux portions de tôle externe 38a de deux éléments voisins 30 (ces lignes de soudage 50 présentent le même profil que les méridiens 25).

15 De façon alternative, comme il apparaît sur la figure 13 représentant un autre exemple de réalisation de cette ligne de soudage 50, on effectue un premier soudage continu le long de la zone de soudage 52, entre les bords 41 et 42 des portions de tôles interne 36a et intermédiaire 36b, ces bords 41 et 42 venant en coïncidence par le fait qu'ils correspondent à une ligne de contact entre les portions de tôles interne 36a et intermédiaire 36b (sommet des ondulations en contact).  
20 L'accès par les deux faces de l'empilement (paroi interne 26) constitué par les portions de tôles interne 36a et intermédiaire 36b, permet d'utiliser une technique de soudage conforme à celle utilisée pour les zones de soudage 48.

25 Ensuite, on utilise une plaque de liaison 54 que l'on accole sur la face extérieure de la paroi externe 28, par-dessus les bords 41 et 42 de deux éléments adjacents (un espace étant prévu entre ces bords 41 et 42 pour permettre l'accès par les deux faces de l'empilement à l'étape précédente), afin de former la continuité de la paroi externe 28 : deux zones de soudage 56 sont obtenues par deux opérations de soudage  
30 continues le long d'une part du bord de la plaque de liaison 54 et d'autre part du bord de l'une des portions 38a de tôles externes.

De cette façon, on obtient un divergent 20 entier par soudure entre n (par exemple six) éléments 30 formant n (par exemple six) secteurs angulaires adjacents identiques.

35 Comme il apparaît sur la figure 11, la longueur d'onde des ondulations de la paroi interne 26 (tôle interne 26a et tôle intermédiaire

26b) est plus grande du côté de la sortie 24 du divergent 20 que du côté de l'entrée 22 du divergent 20, lesdites ondulations étant en outre davantage aplaties du côté de la sortie 24 du divergent 20.

5 Cette configuration est particulièrement avantageuse au vu de l'évolution qualitative axiale de la pression et de la température.

10 Dans la partie de gauche de la figure 12 ont été représentées les évolutions qualitatives axiales de la pression et de la température sur le « côté gaz chaud » de la paroi 26 du divergent (face intérieure) : dans la portion supérieure du divergent 20 (côté entrée 22), on trouve les valeurs de pression les plus importantes et des valeurs importantes de température.

15 C'est également dans la portion supérieure du divergent 20 (côté entrée 22) que les ondulations des tôles 26a et 26b sont les plus resserrées et offrent une surface projetée dans la direction circonférentielle nettement plus faible que dans la portion inférieure du divergent 20 (côté sortie 24), ce qui contribue à une plus grande rigidité et donc une meilleure résistance à la pression là où la pression et la poussée sont maximales.

20 Dans la partie centrale de la figure 12, on a représenté le profil axial de la paroi du divergent 20, qui correspond à l'allure générale d'un méridien 25 entre l'entrée 22 et la sortie 24 du divergent.

25 Dans la partie de droite de la figure 12 ont été représentées les évolutions qualitatives axiales de la pression et de la température à l'intérieur de la paroi interne 26 : la pression P décroît régulièrement et la température T augmente régulièrement depuis l'entrée 22 vers la sortie 24.

30 Ainsi, sous l'effet de l'échauffement de la paroi interne 26 du divergent, celle-ci se déforme par dilatation, ce qui accentue son aspect incurvé, cette déformation étant facilitée par la souplesse de la paroi interne 26 du fait de sa forme et de sa structure initiales obtenues par des tôles ondulées résultant d'un emboutissage.

35 En particulier, dans la partie de droite de la figure 12, représentant l'évolution qualitative de la pression et de la température du fluide de refroidissement des canaux 27 (entre les deux tôles ondulées 26a et 26b de la paroi interne 26), la température T augmente régulièrement depuis l'entrée 22 vers la sortie 24 du divergent.

On note, par référence à la partie de gauche de la figure 12 représentant l'évolution qualitative de la pression et de la température au niveau de la face interne de la paroi 26, que la portion supérieure du divergent 20 (côté entrée 22) est soumise aux plus fortes températures à l'emplacement où les ondulations des tôles 26a et 26b sont les plus resserrées mais également les plus profondes, ce qui permet d'absorber les dilatations thermiques associées.

Il y a ainsi adéquation entre la souplesse / la résistance aux sollicitations thermiques de la paroi interne 26 et la température à laquelle elle est soumise.

En outre, dans la portion inférieure de la paroi interne 26, là où les ondulations des tôles 26a et 26b sont plus aplaties et présentent une longueur d'onde plus importante, on obtient une surface d'échange thermique plus importante.

Pendant le fonctionnement, la paroi externe 28 du divergent reste nettement plus froide que la paroi interne 26 et assure la rigidité d'ensemble de la structure du divergent 20.

Cependant, la paroi interne 26 contribue également à la raideur d'ensemble de la structure du divergent 20. La raideur de la paroi interne 26 peut être ajustée en jouant non seulement sur l'épaisseur des portions de tôles interne 26a et intermédiaire 26b qui la composent mais également sur la longueur d'onde et la hauteur des ondulations.

En variante (cas non représenté), les zones 46 de soudure relient la paroi externe 28 et la paroi interne 26 de façon étanche car elles s'étendent en continu sur toute la hauteur du divergent 20, ce par quoi des canaux secondaires, parallèles aux méridiens 25 du divergent 20, sont délimités entre la paroi externe 28 et la paroi interne 26. Ces canaux secondaires peuvent être utilisés en complément des canaux 27 pour le passage séparé d'un fluide de refroidissement (autre débit d'hydrogène liquide par exemple).

Egalement, on peut prévoir, comme pour les divergents métalliques actuels, d'ajouter des raidisseurs externes.

Le divergent décrit précédemment dans sa structure et par son procédé de fabrication est un divergent de moteur pour un véhicule capable de se déplacer dans l'air ou dans l'espace, et constitue de préférence un divergent de moteur –fusée.

Cependant, la présente invention présente d'autres applications telles que pour des divergents de moteurs d'avions ou de missiles.

## REVENDEICATIONS

1. Divergent (20) de moteur pour un véhicule capable de se déplacer dans l'air ou dans l'espace, caractérisé en ce qu'il comporte une paroi externe (28) formée d'une tôle externe (28a) et une paroi interne (26) formée de deux tôles ondulées comportant une tôle interne (26a) et une tôle intermédiaire (26b), les ondulations étant parallèles aux méridiens (25) du divergent (20) et en opposition de phase entre les deux tôles ondulées, les deux tôles ondulées (26a, 26b) étant reliées l'une à l'autre par les sommets des ondulations qui se trouvent en contact, ce par quoi des canaux (27) parallèles aux méridiens (25) du divergent (20) sont délimités entre les deux tôles ondulées de la paroi interne (26) pour la circulation d'un fluide de refroidissement et en ce que la paroi externe (28) et la paroi interne (26) sont reliées l'une à l'autre.

2. Divergent (20) selon la revendication 1, caractérisé en ce que les deux tôles ondulées (26a, 26b) sont reliées l'une à l'autre tout le long des sommets des ondulations qui se trouvent en contact.

3. Divergent (20) selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que la paroi externe (28) et la paroi interne (26) sont reliées l'une à l'autre par des zones (46) dirigées suivant l'axe (X-X') du divergent (20).

4. Divergent (20) selon la revendication 3, caractérisé en ce que lesdites zones (46) relient la paroi externe (28) et la paroi interne (26) de façon étanche et s'étendent en continu sur toute la hauteur du divergent (20), ce par quoi des canaux secondaires, parallèles aux méridiens (25) du divergent (20), sont délimités entre la paroi externe (28) et la paroi interne (26).

5. Divergent (20) selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il résulte de l'assemblage par soudage de plusieurs éléments (30) identiques délimitant chacun un secteur angulaire du divergent (20).

6. Divergent (20) selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que la longueur d'onde des ondulations de la tôle interne (26a) et de la tôle intermédiaire (26b) est plus grande du côté de la sortie (24) du divergent (20) que du côté de l'entrée (22) du divergent (20).

7. Divergent (20) selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il constitue un divergent (20) de moteur -fusée.

5 8. Divergent (20) selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que chacune des tôles parmi la tôle externe (28a), la tôle interne (26a) et la tôle intermédiaire (26b) présente une épaisseur sensiblement constante sur toute sa surface.

10 9. Procédé de fabrication d'un élément (30) destiné à former un secteur angulaire de divergent (20) de moteur pour un véhicule capable de se déplacer dans l'air ou dans l'espace, caractérisé en ce que l'on met en œuvre les étapes suivantes :

15 - on fournit trois portions de tôle plate comprenant une portion de tôle externe (38a'), une portion de tôle interne (36a') et une portion de tôle intermédiaire (36b'), chaque portion de tôle plate (36a', 36b', 38a') ayant une forme de trapèze avec un écart identique et constant entre les côtés parallèles du trapèze, lesdits côtés parallèles étant orthogonaux à une direction longitudinale dudit élément (30) ;

20 - on emboutit chaque portion de tôle plate (36a', 36b', 38a') selon un profil tridimensionnel (40) correspondant au profil tridimensionnel du secteur angulaire du divergent (20) et présentant un bord supérieur (43) et un bord inférieur (42) parallèles entre eux et auxdits côtés parallèles du trapèze, le profil tridimensionnel utilisé pour emboutir la portion de tôle interne (36a') et le profil tridimensionnel utilisé pour emboutir la portion de tôle intermédiaire (36b') présentant en outre des ondulations parallèles entre elles et s'étendant entre les bords supérieur et inférieur (43, 42) du profil tridimensionnel (40), de sorte qu'après emboutissage la portion de tôle interne (36a) et la portion de tôle intermédiaire (36b) forment deux portions de tôles ondulées (36a, 36b),

25 - les trois portions de tôles (36a, 36b, 38a) embouties sont superposées selon le profil tridimensionnel (40), les ondulations des deux portions de tôles ondulées (36a, 36b) étant disposées en opposition de phase l'une contre l'autre et la surface de ladite portion de tôle externe (38a) étant disposée contre la portion de tôle intermédiaire (36b), et

30 - les trois portions de tôles (36a, 36b, 38a) embouties superposées sont  
35 assemblées par soudage, d'une part par les sommets des ondulations des

deux portions de tôles ondulées (36a, 36b) qui se trouvent en contact, ce par quoi des canaux (27) sont délimités entre les deux portions de tôles ondulées (36a, 36b), et d'autre part entre la portion de tôle externe (38a) et la portion de tôle intermédiaire (36b).

5           10. Procédé de fabrication d'un élément (30) selon la revendication 9, caractérisé en ce que les deux portions de tôles ondulées (36a, 36b) sont reliées l'une à l'autre tout le long des sommets des ondulations qui se trouvent en contact.

10           11. Procédé de fabrication d'un élément (30) selon la revendication 9 ou 10, caractérisé en ce que les deux portions de tôles ondulées (36a, 36b) présentent le même nombre d'ondulations.

15           12. Procédé de fabrication d'un élément (30) selon la revendication 9, 10 ou 11, caractérisé en ce que les ondulations des deux portions de tôles ondulées (36a, 36b) présentent la même longueur d'onde.

20           13. Procédé de fabrication d'un élément (30) selon la revendication 9, 10, 11 ou 12, caractérisé en ce que la portion de tôle externe (38a) et la portion de tôle intermédiaire (36b) sont reliées l'une à l'autre par des zones de soudage qui sont dirigées suivant la direction longitudinale dudit élément (30).

25           14. Procédé de fabrication d'un divergent (20) de moteur-fusée, caractérisé en ce que l'on met en œuvre les étapes suivantes :  
- on fournit des éléments (30) fabriqués selon le procédé de l'une quelconque des revendications 9 à 13, et  
- on assemble lesdits éléments (30) par soudage le long du bord latéral (41, 42) de chaque portion de tôle emboutie (36a, 36b, 28a) correspondante de deux éléments (30) voisins.

30           15. Procédé de fabrication d'un divergent (20) de moteur-fusée selon la revendication 14, caractérisé en ce qu'avant d'assembler les deux éléments (30) voisins par soudage, on superpose le bord latéral d'au moins une portion de tôle emboutie (36a, 26b, 28a) d'un élément (30) avec le bord latéral de la portion de tôle emboutie (36a, 36b, 38a) correspondante de l'élément voisin (30).

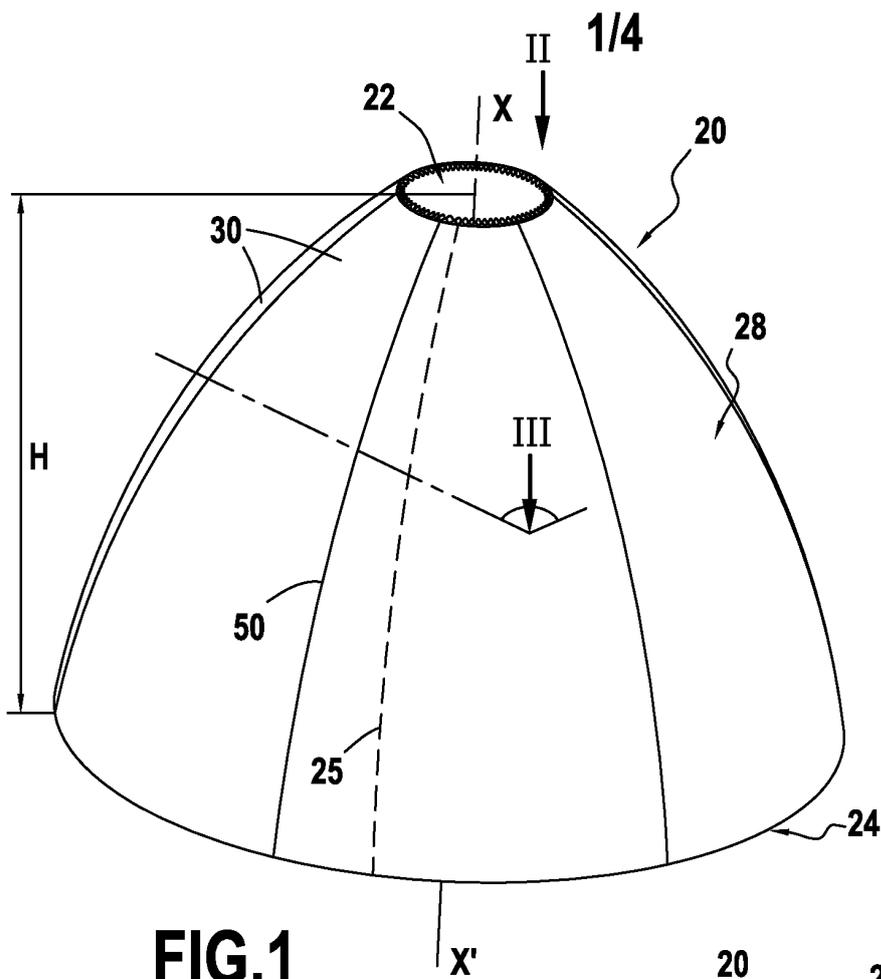


FIG. 1

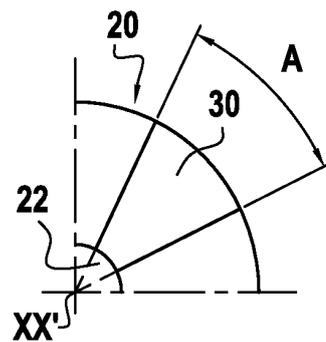


FIG. 2

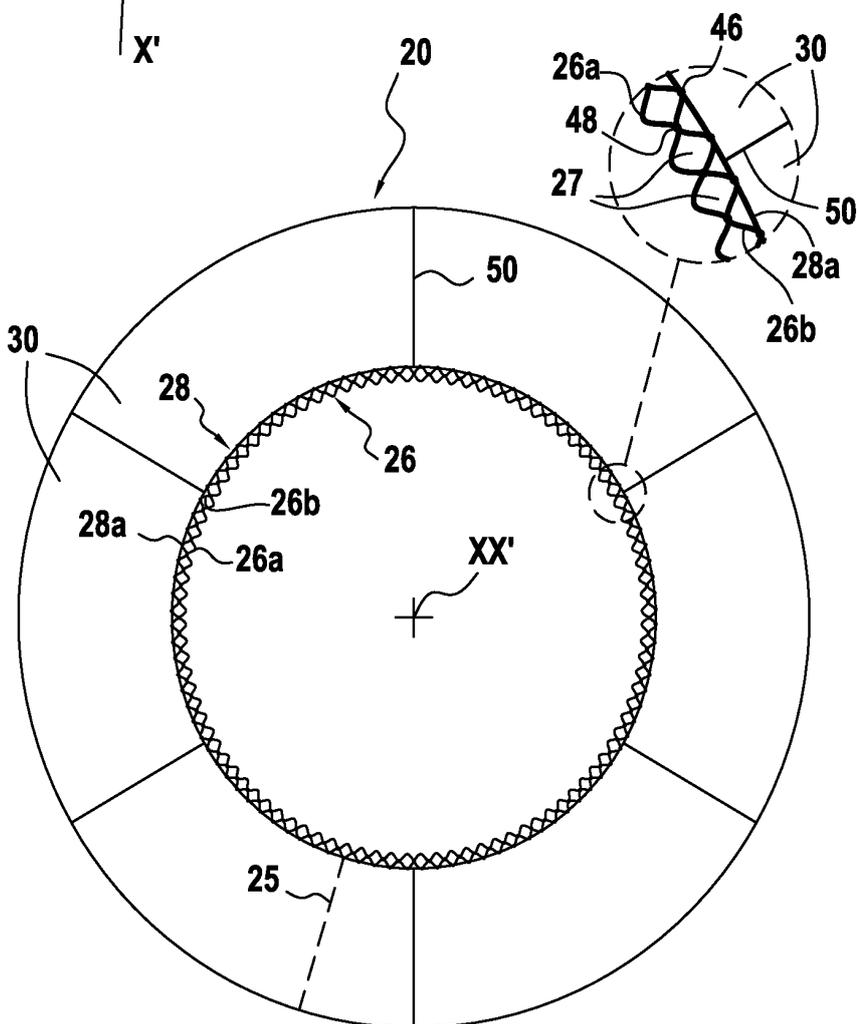
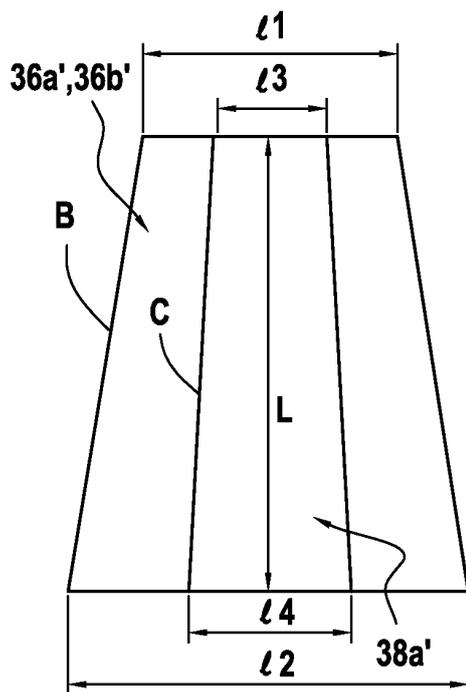
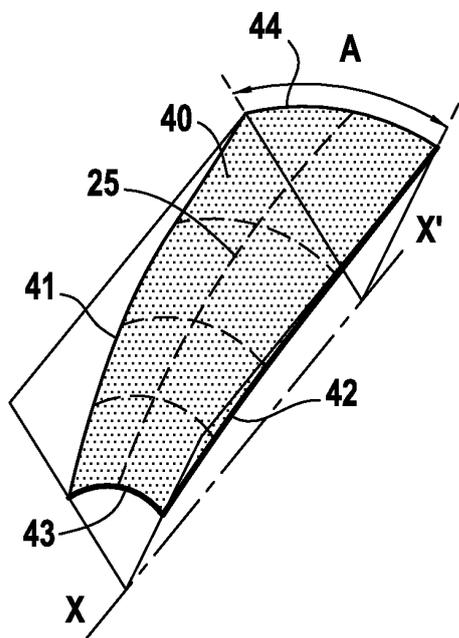


FIG. 3

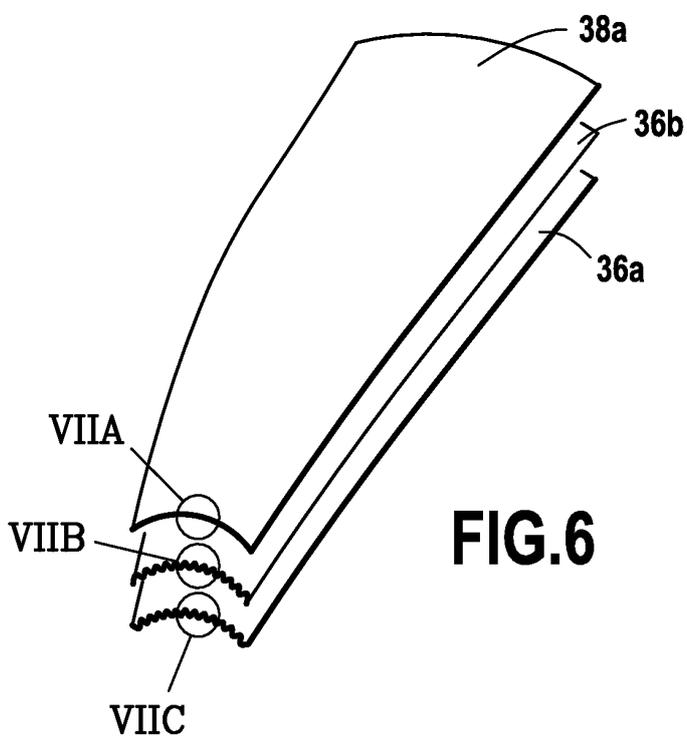
2/4



**FIG. 4**



**FIG. 5**



**FIG. 6**



**FIG. 7A**



**FIG. 7B**



**FIG. 7C**

3/4

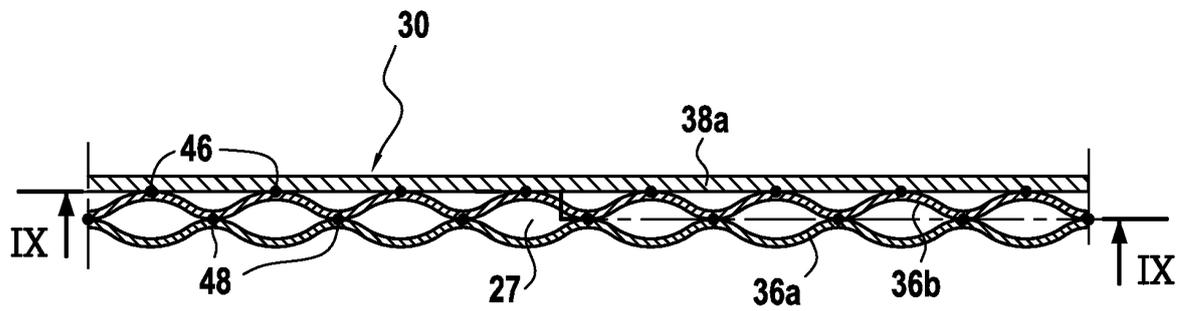


FIG. 8

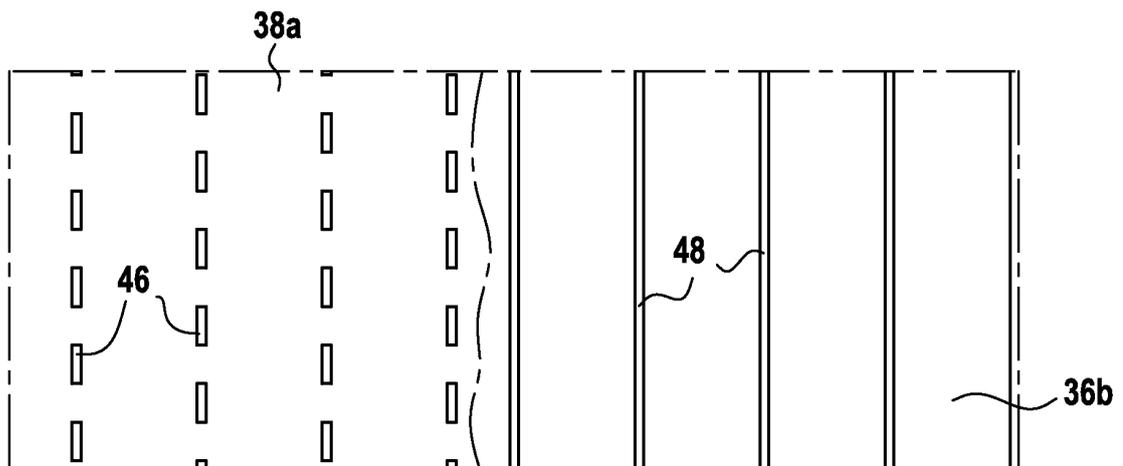


FIG. 9

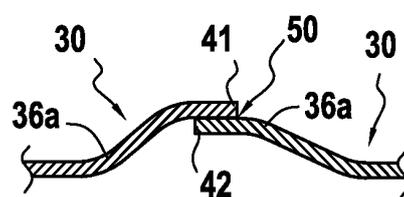
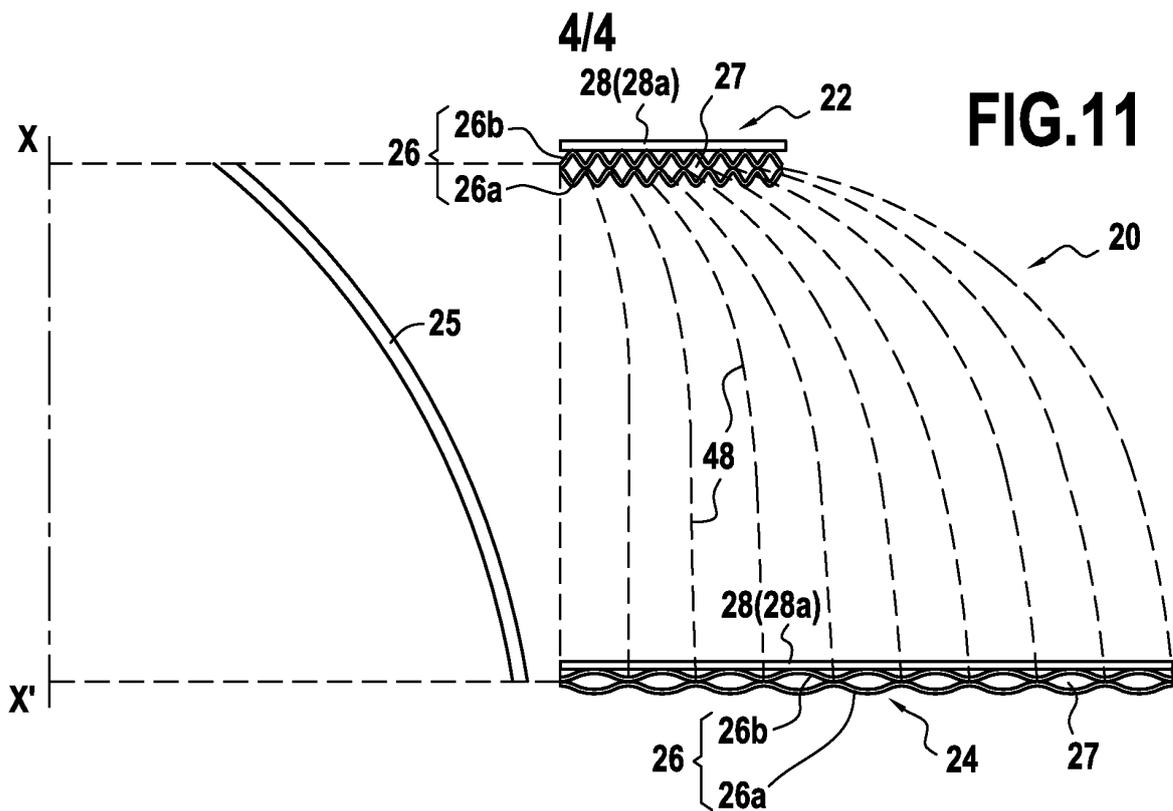
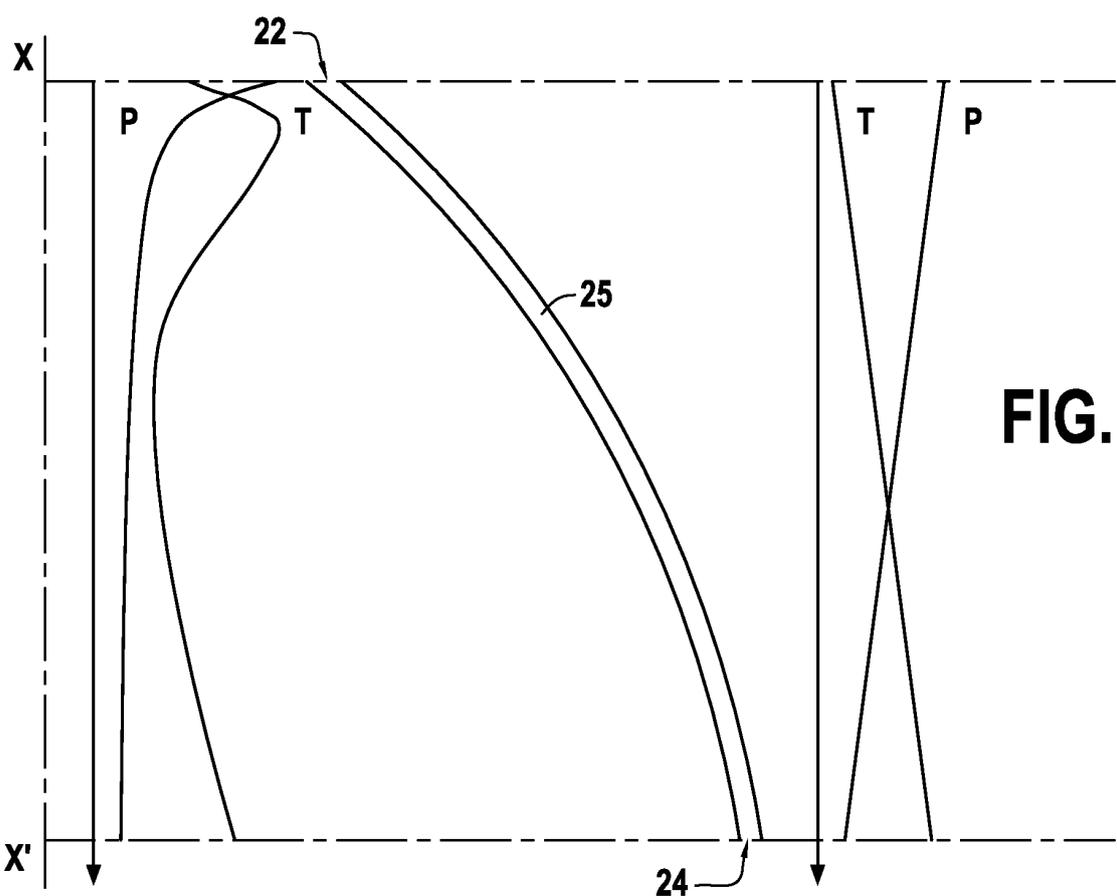


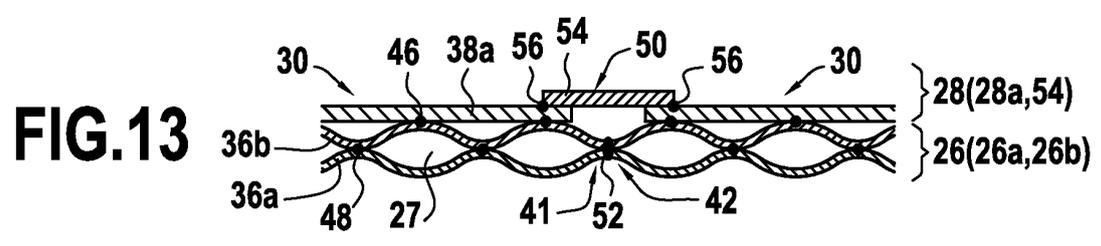
FIG. 10



**FIG.11**



**FIG.12**



**FIG.13**



**RAPPORT DE RECHERCHE  
PRÉLIMINAIRE**

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

N° d'enregistrement  
national

FA 723714  
FR 0953238

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 3 249 989 A (ROBINSON NAN E) 10 mai 1966 (1966-05-10)	1-8	F02K9/97
A	* colonne 1, ligne 10-20 * * colonne 1, ligne 59 - colonne 2, ligne 25 * * colonne 2, ligne 52-61; figures 1,6 *	9-15	
Y	US 3 630 449 A (BUTLER STANLEY D) 28 décembre 1971 (1971-12-28)	9-15	
A	* colonne 1, ligne 4,5,33-35,42-57 * * colonne 2, ligne 38 - colonne 3, ligne 10; figures 1,5,7-10 *	1-8	
Y	EP 0 488 858 A (EUROP PROPULSION [FR]) 3 juin 1992 (1992-06-03)	9-15	
A	* colonne 1, ligne 3 - colonne 3, ligne 57 * * colonne 5, ligne 2 - colonne 6, ligne 16 * * colonne 8, ligne 53 - colonne 10, ligne 17 * * colonne 11, ligne 46 - colonne 13, ligne 13; figures 3,7 *	1-8	
A	US 3 235 947 A (JUST SOHLEMANN) 22 février 1966 (1966-02-22) * le document en entier *	1-15	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
A	GB 865 942 A (GEN MOTORS CORP) 26 avril 1961 (1961-04-26) * page 1, ligne 13-16,35-60 * * page 2, ligne 1-19; figures 1,5 *	1-15	F01D F02K
		-/--	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
14 janvier 2010		Souris, Christophe	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS			
<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>	



**RAPPORT DE RECHERCHE  
PRÉLIMINAIRE**  
établi sur la base des dernières revendications  
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement  
national

FA 723714  
FR 0953238

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		
A	US 5 221 045 A (MCANINCH MICHAEL D [US] ET AL) 22 juin 1993 (1993-06-22) * colonne 1, ligne 14-18 * * colonne 2, ligne 14-42 * * colonne 3, ligne 14-39 * * colonne 4, ligne 1-29; figures 1-3 * -----	1-15	
A	FR 2 850 742 A (SNECMA PROPULSION SOLIDE [FR]) 6 août 2004 (2004-08-06) * le document en entier * -----	1-15	
A	US 2005/086928 A1 (HAGGANDER JAN [SE]) 28 avril 2005 (2005-04-28) * le document en entier * -----	1-15	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
		14 janvier 2010	Souris, Christophe
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention	
X : particulièrement pertinent à lui seul		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.	
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie		D : cité dans la demande	
A : arrière-plan technologique		L : cité pour d'autres raisons	
O : divulgation non-écrite		.....	
P : document intercalaire		& : membre de la même famille, document correspondant	

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14) 3

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0953238 FA 723714**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **14-01-2010**

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 3249989	A	10-05-1966	AUCUN	
-----				
US 3630449	A	28-12-1971	AUCUN	
-----				
EP 0488858	A	03-06-1992	DE 69105464 D1	12-01-1995
			DE 69105464 T2	20-04-1995
			FR 2669966 A1	05-06-1992
			JP 3068299 B2	24-07-2000
			JP 4301168 A	23-10-1992
			US 5233755 A	10-08-1993
-----				
US 3235947	A	22-02-1966	AUCUN	
-----				
GB 865942	A	26-04-1961	AUCUN	
-----				
US 5221045	A	22-06-1993	AUCUN	
-----				
FR 2850742	A	06-08-2004	CA 2456403 A1	30-07-2004
			DE 102004004424 A1	20-01-2005
			GB 2399163 A	08-09-2004
			JP 2004233043 A	19-08-2004
			US 2004194941 A1	07-10-2004
-----				
US 2005086928	A1	28-04-2005	AUCUN	
-----				