

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

⑫

N° 80 23215

⑤④ Procédé d'assemblage de pièces réfractaires.

⑤① Classification internationale (Int. Cl.³). C 04 B 37/00.

②② Date de dépôt..... 30 octobre 1980.

③③ ③② ③① Priorité revendiquée :

④① Date de la mise à la disposition du
public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 18 du 7-5-1982.

⑦① Déposant : Société anonyme dite : SOCIÉTÉ EUROPÉENNE DE PROPULSION, résidant en France.

⑦② Invention de : Louis Heraud.

⑦③ Titulaire : *Idem* ⑦①

⑦④ Mandataire : Cabinet Beau de Loménie,
55, rue d'Amsterdam, 75008 Paris.

Procédé d'assemblage de pièces réfractaires.

La présente invention concerne un procédé d'assemblage de pièces en matériaux réfractaires, notamment les pièces carbonées et les pièces céramiques.

Les termes "pièces carbonées" désignent ici
5 les produits entièrement en carbone tels que les graphites polycristallins, les pyrographites, les matériaux composites carbone-carbone, les renforts obtenus à partir de fibres de carbone ou de graphite, etc. Les termes "pièces céramiques" désignent les produits notamment
10 en oxydes, carbures, borures, nitrures, siliciures, etc, renforcés ou non mécaniquement par des fibres, et qui sont obtenus par les techniques connues, comme, par exemple, le frittage.

Pour l'assemblage de pièces réfractaires, il
15 est connu d'utiliser des liaisons de type mécanique ou des liaisons par collage.

Les liaisons de type mécanique, par exemple le rivetage ou le vissage, nécessitent des usinages particuliers et précis sur les pièces à assembler. Il
20 en résulte, d'une part, une augmentation du prix de revient et, d'autre part, un affaiblissement des propriétés des pièces assemblées, notamment de moins bonnes tenue en fatigue, répartition des contraintes et fiabilité. Il s'y ajoute une perméabilité aux gaz et aux
25 liquides.

Pour les liaisons par collage, plusieurs types de colles ont été utilisés, notamment des colles à liants organiques, des colles céramiques et, dans le cas de l'assemblage de pièces en matériau carbone-carbone, des colles avec résines donnant des cokes par
30 thermolyse. Les colles à liants organiques ne sont efficaces que jusqu'à des températures d'utilisation des assemblages ne dépassant pas 250 à 300° C. Cette techni-

que ne peut donc convenir pour l'assemblage de pièces réfractaires destinées à être utilisées à des températures très élevées. Or, les applications à haute température, par exemple la fabrication de pièces carbonées pour des éléments de tuyères de propulseurs, est un domaine privilégié d'utilisation des pièces réfractaires.

Les colles céramiques de type ciments conservent certes leurs propriétés aux températures élevées, mais les liaisons ainsi réalisées ont une résistance trop faible pour que les assemblages puissent être sans risque soumis à des sollicitations mécaniques. Les colles céramiques réalisent plus un bourrage assurant l'étanchéité entre pièces réfractaires qu'une véritable liaison résistant à la rupture. Cet inconvénient limite donc considérablement les possibilités d'utilisation des assemblages ainsi réalisés.

Dans le cas de pièces en matériau composite carbone-carbone, il a été proposé d'utiliser des colles à résines cokéfiabiles, conformément à un procédé comportant les étapes suivantes : encollage au moyen d'une colle contenant une résine de taux de coke résiduel élevé chargée de poudre de carbone, thermolyse de la résine et densification du joint obtenu par imprégnation au moyen d'une résine et/ou un brai suivie d'une nouvelle thermolyse. Ce dernier procédé est celui, parmi les procédés connus, qui conduit aux résultats les meilleurs, en ce qui concerne la tenue mécanique de la liaison, pour les utilisations aux hautes températures. Toutefois, la tenue mécanique peut encore s'avérer insuffisante lorsque l'on demande aux assemblages obtenus d'assurer un rôle structural.

Aussi, l'invention a pour but de fournir un procédé permettant de réaliser des assemblages alliant les avantages du collage avec une très bonne tenue mécanique même aux hautes températures.

Ce but est atteint par un procédé comportant, conformément à l'invention, les étapes suivantes :

- encollage des pièces à assembler au moyen d'une colle laissant, après thermolyse, un résidu réfractaire poreux,
- thermolyse de la colle, et
- densification du joint poreux résultant de la thermolyse par dépôt chimique en phase vapeur d'un matériau réfractaire.

Comme le montreront les exemples donnés plus loin, la densification du joint par dépôt chimique en phase vapeur permet de réaliser des assemblages de très haute tenue mécanique, ce qui offre à l'assemblage de pièces réfractaires par collage des applications qui ne pouvaient pas être envisagées jusqu'à présent.

La colle utilisée doit laisser, après thermolyse, un résidu réfractaire poreux.

Lorsque l'on désire obtenir un résidu réfractaire carboné, il est préférable de choisir une colle contenant une résine ayant un taux de coke résiduel élevé. Le taux de coke résiduel est le pourcentage en poids des résidus de coke après thermolyse de la résine par rapport au poids initial de celle-ci. Un taux de coke résiduel élevé est supérieur à environ 40 %. Il peut dépasser 70 %. A titre indicatif, les résines utilisables sont celles du groupe constitué par les résines phénol-formaldéhydes, les résines époxydes, et les brais de houille et de pétrole.

Lorsque l'on désire obtenir un résidu réfractaire autre que carboné, on pourra choisir une colle de type céramique, par exemple un ciment silico-alumineux.

De préférence, la colle utilisée doit avoir une viscosité permettant un mouillage convenable des surfaces à coller et la porosité créée par la thermolyse doit être ouverte pour être accessible au cours de

la phase de dépôt chimique en phase vapeur. Cette porosité doit en outre être de dimensions relativement restreintes et régulières pour que son bouchage par le matériau déposé en phase vapeur soit aussi complet et uniforme que possible.

La colle utilisée peut contenir des charges, par exemple des particules réfractaires de dimensions comprises entre 1 et 100 microns environ. Ces particules sont par exemple des grains de poudre de carbone, ou des fragments de fibres de carbone, des grains de silice, de carbure de silicium ou autre minéral réfractaire. Dans le cas où les charges sont des particules de carbone, la colle utilisée contient de préférence entre 20 et 50 parties en poids environ de résine et entre 60 et 140 parties en poids de charges carbonées. Lorsque les charges sont en un matériau autre que le carbone, la colle contient de préférence entre 60 x et 140 x parties en poids de charges, x étant le rapport entre la densité du matériau constitutif des charges et la densité du carbone.

Pour la mise en oeuvre du procédé conforme à l'invention, les surfaces des pièces à coller et la colle sont d'abord préparées.

La préparation de surface consiste dans des opérations habituelles de nettoyage telles que ponçage, dépolissage et dégraissage.

Lorsque la colle est à base d'une résine, elle est préparée en malaxant la résine avec un durcisseur éventuel et les charges réfractaires. La colle est de préférence conservée sous vide.

Les surfaces à assembler sont encollées, par exemple à la spatule, et accostées. L'accostage est réalisé avec une pression suffisante pour que la colle flue dans le joint. L'épaisseur du joint est réglée au moyen de cales d'épaisseur calibrées ; cette épaisseur est choisie égale à une valeur comprise entre environ

0,1 et 1 mm. Les cales d'épaisseur sont en un matériau ne réagissant pas avec le matériau du joint à haute température et ne pouvant pas constituer une pollution du joint de colle.

5 La colle est ensuite réticulée en général au cours d'un cycle de cuisson réalisé en étuve ou en autoclave. La durée de ce cycle et la température de cuisson sont fonctions des constituants de la colle, par exemple de la résine et du durcisseur éventuel utilisés.

10 Après réticulation, un traitement de post-cuisson peut être effectué. Ce traitement permet de libérer les contraintes internes présentes dans le joint et qui pourraient se traduire par l'apparition de fissures dans ce joint ou à l'interface joint-pièce lors
15 de la thermolyse de la colle. Il est à noter que la post-cuisson n'est généralement pas une étape nécessaire.

 Après les opérations de réticulation et, éventuellement, de post-cuisson, on effectue un traitement de thermolyse de la colle du joint. La thermolyse
20 est effectuée à une température supérieure à 300° C et de préférence atteignant 800 à 1000° C pour que la thermolyse soit totale au bout d'un temps assez court.

 Après thermolyse, le joint se présente sous forme d'un résidu réfractaire poreux contenant les
25 charges ajoutées initialement à la colle.

 L'opération suivante consiste dans le dépôt de matériau réfractaire de façon relativement homogène dans la totalité du volume du joint par la technique de
30 dépôt chimique en phase vapeur. Cette technique peut être mise en oeuvre suivant les différentes façons connues habituellement utilisées.

 Le dépôt chimique en phase vapeur consiste à mettre en contact la structure poreuse avec un gaz constitué d'une ou plusieurs espèces chimiques contenant

les éléments à déposer et généralement d'une ou plusieurs espèces chimiques susceptibles d'être utilisées comme agents réactifs, d'entraînement, et/ou de dilution. Dans certaines conditions de température, de pression et de débit, le transfert des gaz par diffusion et leur décomposition avec libération des éléments à déposer sur le substrat, est possible jusqu'au coeur de la structure poreuse.

10 On pourra se référer au brevet des Etats-Unis / d'Amérique n° 3 895 084 et au brevet français n° 2.189 207 qui décrivent un procédé de dépôt chimique en phase vapeur de carbone et au brevet français n° 2 401 888 qui décrit un procédé de dépôt chimique en phase vapeur de matériaux réfractaires autres que le carbone, notamment 15 des carbures de silicium, de bore ou des éléments de transition, des diborures des éléments de transition, des nitrures de silicium ou de bore, des siliciures métalliques,

20 Le matériau réfractaire infiltré dans le joint par dépôt chimique en phase vapeur peut être ou non le même que celui constitutif du résidu poreux obtenu après thermolyse de la colle. Par exemple, on pourra déposer un matériau réfractaire autre que le pyrocarbone à l'intérieur d'un joint carboné résultant de la pyrolyse 25 d'une résine.

Lorsque les pièces à assembler sont des pièces dont la fabrication est entièrement terminée, les opérations de thermolyse et de dépôt chimique en phase 30 vapeur s'ajoutent à l'opération d'encollage par rapport aux procédés d'assemblage par collage connus. Toutefois, lorsque la phase de dépôt chimique en phase vapeur est effectuée à une température supérieure à celle nécessaire pour la thermolyse de la colle, cette thermolyse 35 peut être réalisée au cours de la montée en température

précédant l'introduction des composants gazeux nécessaires au dépôt chimique en phase vapeur.

Par contre, lorsque les pièces à assembler sont réalisées en un matériau devant subir une densification par dépôt chimique en phase vapeur, par exemple un matériau composite comportant un renfort fibreux dans lequel doit être incorporée une matrice réfractaire, il est avantageux de réaliser l'assemblage de ces pièces avant leur densification totale et de les densifier définitivement au cours de la phase de dépôt chimique en phase vapeur prévue pour le joint. Ceci présente l'avantage, d'une part, que les opérations de dépôt chimique en phase vapeur dans la structure des pièces à assembler et dans le joint entre ces pièces sont effectuées simultanément et, d'autre part, que la porosité des pièces facilite l'infiltration au coeur du joint. Au regard de ce dernier point, il est préférable de réaliser l'assemblage des pièces à densifier lorsque la porosité de celles-ci est relativement importante, ce qui n'exclut pas l'éventualité d'une prédensification partielle des pièces avant leur assemblage. Comme déjà indiqué, la thermolyse peut être réalisée au cours de la montée en température précédant le dépôt chimique en phase vapeur. Il n'y a alors plus d'opérations supplémentaires par rapport aux procédés d'assemblage par collage connus.

Lorsque la préparation des pièces à assembler inclut une opération de thermolyse d'une résine avant densification, il est même envisageable de réaliser cette thermolyse en même temps que celle de la résine du joint, après encollage. Il en est ainsi par exemple lorsque les pièces à assembler sont en matériau composite réalisé par imprégnation d'un renfort fibreux par une résine destinée à être réticulée puis thermolysée avant dépôt chimique final en phase vapeur.

Les pièces assemblées conformément à l'inven-

tion peuvent être usinées à leur forme définitive sans que cela pose de problèmes particuliers.

Les exemples particuliers donnés ci-après à titre indicatif mais non limitatif montrent l'excellente tenue aux sollicitations mécaniques et aux températures élevées des joints réalisés conformément à l'invention.

Pour ces exemples, on se référera au dessin joint qui illustre :

- figures 1 et 2 : des vues schématiques en perspective de deux ensembles de deux pièces assemblées par le procédé conforme à l'invention,
- figure 3 : une vue partielle en coupe méridienne d'une structure assemblée par le procédé conforme à l'invention, et
- figure 4 : une vue partielle en coupe suivant la ligne IV-IV de la figure 3.

Exemple 1 :

Des échantillons en forme de petits disques de diamètre 30 mm et d'épaisseur 10 mm ont été réalisés en matériau composite constitué d'un renfort tridimensionnel tissé en fibres de carbone densifié par dépôt de carbure de silicium en phase vapeur, comme connu en soi. Les échantillons ont ensuite été collés deux à deux, soit avec une colle contenant 100 parties en poids de poudre de carbure de silicium et 35 parties en poids de résine phénolique, soit avec une colle contenant 100 parties en poids de poudre de carbone et 30 parties en poids de résine furanique.

Les éprouvettes ont été fabriquées par encollage des surfaces des échantillons et accostage en ménageant des joints de 4 à 0,2 mm d'épaisseur. Les résines ont ensuite été réticulées à chaud puis thermolysées jusqu'à 800° C.

Après thermolyse, certaines des éprouvettes ont été soumises, soit au dépôt de pyrocarbure, soit au dépôt de carbure de silicium dans le joint par dépôt

chimique en phase vapeur. Les faces planes des éprouvettes 1 obtenues ont ensuite été collées avec une colle époxyde sur deux supports métalliques (2, 3) (figure 1) permettant de réaliser un essai en traction parallèlement à leur axe (forces F_1 , F'_1). Les ruptures en traction se sont produites dans les joints entre échantillons pour des contraintes de 9 MPa environ dans le cas des joints avec dépôt de pyrocarbone, et à l'interface joint-échantillon pour des contraintes de 17 MPa environ dans le cas des joints avec dépôt de carbure de silicium.

A titre de comparaison, après thermolyse, d'autres éprouvettes ont été collées directement sur deux supports métalliques de la même façon qu'indiqué pour les éprouvettes précédentes. Les ruptures en traction se sont produites dans les joints entre échantillons pour des contraintes voisines de 0,5 MPa, quelle que soit la composition de la colle adoptée pour les joints. On constate donc l'augmentation considérable de résistance en traction apportée par le procédé conforme à l'invention.

Exemple 2

Des échantillons en forme de plaques 5 (figure 2) ont été réalisés en matériau composite carbone-carbone constitué d'un renfort formé par un empilement de strates en tissu de carbone densifié par dépôt de pyrocarbone en phase vapeur. Les échantillons formaient des parallélépipèdes rectangles de mêmes dimensions 30x25x10 mm.

La colle utilisée contenait 100 parties en poids de poudre de carbone pour 30 parties en poids de résine furanique.

Des éprouvettes ont été fabriquées par encollage des surfaces de deux échantillons et accostage en ménageant des joints 6 de 0,2 mm et de 0,5 mm d'épaisseur. La résine a été ensuite réticulée à chaud.

Après réticulation, les éprouvettes dont le

joint avait 0,2 mm d'épaisseur ont montré une résistance au cisaillement interlaminaire de 0,5 MPa environ, tandis que les éprouvettes dont le joint avait 0,5 mm d'épaisseur ont montré une résistance au cisaillement interlaminaire de 0,2 MPa. Les essais ont été réalisés en soumettant les plaques 5 de chaque éprouvette testée respectivement à deux forces F_2 et F'_2 (figure 2) égales et opposées, orientées parallèlement aux plaques 5. Les ruptures se sont produites dans les joints 6.

Des éprouvettes fabriquées comme précédemment avec des joints de 0,2 et 0,7 mm d'épaisseur ont été soumises, après réticulation, à la thermolyse de la résine puis au dépôt de pyrocarbone ou de carbure de silicium dans le joint par dépôt chimique en phase vapeur.

Dans le cas de dépôt de pyrocarbone, les tenues au cisaillement mesurées ont été de 9,5 à 14 MPa pour des joints de 0,2 mm d'épaisseur et d'environ 9,5 MPa pour des joints de 0,7 mm d'épaisseur.

Les ruptures se sont produites dans les joints les plus épais mais la plupart des ruptures sur les éprouvettes avec joints minces se sont produites à l'interface joint-matériau ou au sein du matériau. Certaines des éprouvettes obtenues après dépôt de pyrocarbone dans le joint ont été soumises à une température de 2800° C avant l'essai de cisaillement. La valeur mesurée de résistance au cisaillement a été voisine de 6 MPa pour des joints de 0,2 mm. d'épaisseur.

Dans le cas de dépôts de carbure de silicium, les tenues au cisaillement mesurées ont été de 11 à 20 MPa et les ruptures se sont toujours produites à l'interface joint-matériau ou au sein du matériau.

Exemple 3 :

On a réalisé l'assemblage de trois couches en matériau composite carbone-carbone pour réaliser un disque de frein d'avion, les deux couches latérales constituant les couches de frottement.

Les couches latérales ont été obtenues chacune à partir d'un tissu de carbone découpé en strates en forme de disques, lesquelles ont été superposées. L'empilement a été placé dans un outillage, pour rigidification par dépôt de pyrocarbone, comme connu en soi. Chaque préforme ainsi obtenue a ensuite été usinée par rectification à sec à l'aide d'une meule diamantée. L'état de surface obtenu était relativement grossier.

La couche centrale a été obtenue à partir du même tissu que dans le cas des couches latérales, mais le tissu a été découpé en secteurs annulaires de 90° disposés bord à bord pour minimiser les chutes de tissu. Comme précédemment, les strates de tissu ont été rigidifiées et densifiées par dépôt de pyrocarbone et la couche centrale a ensuite été usinée.

Les surfaces à assembler ont été seulement dépoussiérées avant encollage au moyen d'une colle contenant 100 parties en poids de poudre de carbone et 35 parties en poids de résine furanique et à laquelle ont été ajoutées des billes de verre de 0,2 mm de diamètre au taux de 3 % en volume.

Les couches encollées ont été placées entre deux plaques métalliques et la pression nécessaire au fluage de la colle a été appliquée à l'aide de serre-joints, les billes de verre formant cales d'épaisseur. Les couches ainsi maintenues ont été placées dans une étuve où elles ont subi un cycle de réticulation comportant une première phase de cinq heures à 100° C suivie d'une deuxième phase de 15 heures à 120° C.

Après avoir ôté l'outillage de maintien, les couches assemblées ont été placées dans une enceinte

pour le dépôt chimique de pyrocarbone en phase vapeur de façon connue en soi. Ce dépôt a été précédé d'une montée rapide en température au cours de laquelle la thermolyse de la résine a eu lieu.

5 Le disque ainsi réalisé a été soumis à un traitement à très haute température sans que sa tenue soit comprise. Essayé en freinage sur avion, le disque a donné entière satisfaction.

Exemple 4 :

10 Différentes pièces ont été réalisées en matériau composite carbone-carbone pour la construction de veines de tuyères d'engins.

Pour réaliser un assemblage, on a utilisé une pièce de col de tuyère obtenue à partir d'un renfort
15 multidirectionnel en fibres de carbone densifiée par du coke de résine, et deux pièces en amont du col obtenues à partir de tissu de carbone découpé en strates entières rigidifiées et densifiées par infiltration de pyrocarbone.

Les pièces à assembler ont été encollées comme
20 indiqué dans l'exemple 2 et la résine de la colle a subi un cycle de réticulation de 50 heures à 75° C.

L'ensemble a ensuite été traité thermiquement à très haute température puis usiné à sa forme définitive avant infiltration de pyrocarbone par dépôt chimique en
25 phase vapeur.

Sur l'assemblage ainsi obtenu, un divergent a été monté pour constituer une tuyère d'engin. L'assemblage a montré une tenue en tir satisfaisante malgré un violent choc thermique, des sollicitations mécaniques
30 importantes et bien que les différentes pièces assemblées n'étaient pas constituées par le même matériau.

Exemple 5 :

Le procédé d'assemblage conforme à l'invention a permis de réaliser un carter de tuyère réfractaire rigide de conception nouvelle à partir de pièces caisson-
35

nées en matériau composite carbone-carbone.

Les différentes pièces utilisées sont un anneau creux 10 (figures 3, 4) assurant la rigidité de l'ensemble dans son plan, des nervures caissonnées 11
5 assurant la rigidité de l'ensemble en flexion et compression axiale et des voiles et cônes de liaison 12, 13, 14 liés aux nervures 11 et à l'anneau 10 par assemblage conformément à l'invention.

La pièce tronconique 14 forme la face intérieure du carter et porte, sur sa face extérieure les
10 nervures longitudinales caissonnées 11 et l'anneau creux de rigidification 10 (figure 3). Le voile 12 est disposé à l'extrémité de plus petit diamètre du carter et entoure les extrémités amincies des nervures 11 et
15 l'extrémité du tronc de cône 14. Le voile 13 est disposé à l'autre extrémité du carter et entoure les autres extrémités des nervures 11 et l'anneau 10 (voir figure 3).

Les différentes pièces constitutives de l'assemblage ont été réalisées par moulage d'un matériau
20 constitué de tissu de carbone noyé dans une matrice en résine phénolique. Après moulage, les pièces ont été poncées pour éliminer la peau de la résine, puis dégraissées.

25 Une colle semblable à celle utilisée dans l'exemple 2 a été appliquée sur les surfaces à assembler. L'ensemble a ensuite suivi un cycle de cuisson à 120° pour réticulation de la résine de la colle.

Après cette réticulation, l'ensemble a été
30 soumis à un traitement de thermolyse pour transformer la résine du matériau composite des pièces et la résine des joints de colle en coke. Le produit réfractaire poreux ainsi obtenu a été ensuite placé dans une enceinte où l'on a procédé au dépôt chimique
35 de pyrocarbone en phase vapeur dans l'ensemble du

produit de manière à consolider les joints de colle et à donner au matériau composite des différentes pièces ses propriétés définitives.

5 L'assemblage réalisé a montré une tenue mécanique et thermique satisfaisante, ce qui n'aurait pu être obtenu par les procédés d'assemblage connus.

10 Bien entendu, différentes modifications ou adjonctions pourront être apportées aux modes de réalisation décrits ci-avant du procédé conforme à l'invention, sans pour cela sortir du cadre de protection défini par les revendications annexées.

REVENDEICATIONS

1. Procédé d'assemblage de pièces réfractaires, procédé selon lequel les pièces à assembler sont encollées au moyen d'une colle laissant, après thermolyse, un résidu réfractaire poreux, puis la colle est thermolysée et le joint poreux résultant de la thermolyse de la colle est densifié par un matériau réfractaire, procédé caractérisé en ce que la densification du joint est réalisée par dépôt chimique en phase vapeur de matériau réfractaire.
2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'encollage est réalisé au moyen d'une colle comportant des charges constituées par des particules réfractaires de dimensions comprises entre 1 et 100 microns environ.
3. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, caractérisé en ce que la densification du joint est réalisée par dépôt chimique en phase vapeur de pyrocarbone.
4. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que le matériau réfractaire est choisi dans le groupe comportant les oxydes, carbures, borures, nitrides, siliciures.
5. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que le dépôt chimique en phase vapeur est effectué à une température supérieure à celle de thermolyse de la colle et l'étape de thermolyse est réalisée au cours de la montée en température précédant immédiatement l'étape de dépôt chimique en phase vapeur.
6. Procédé de fabrication d'un ensemble constitué essentiellement par un matériau composite formé d'un renfort densifié par un matériau réfractaire, caractérisé en ce que plusieurs pièces constitutives dudit ensemble sont réalisées séparément à partir de renfort non complètement densifié, et les pièces sont assemblées suivant un procédé d'assemblage conforme à l'une quel-

conque des revendications précédentes,
l'étape de dépôt chimique en phase vapeur étant effectuée simultanément dans le ou les joints entre les différentes pièces et dans la structure poreuse de ces
5 pièces.

7. Procédé d'assemblage selon la revendication 6, dans lequel les pièces à assembler sont en matériau composite formé par un renfort imprégné d'une résine devant être réticulée puis thermolysée avant densification,
10 caractérisé en ce que les pièces sont assemblées par collage avant thermolyse et, ultérieurement, de dépôt chimique en phase vapeur étant effectuées simultanément pour le matériau des pièces assemblées et pour le ou les joints entre ces pièces.

