

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

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

3 014 342

②1 N° d'enregistrement national : 13 62236

⑤1 Int Cl<sup>8</sup> : B 23 P 15/26 (2013.01)

⑫

## DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 06.12.13.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la demande : 12.06.15 Bulletin 15/24.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du présent fascicule*

⑥0 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦1 Demandeur(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES — FR.

⑦2 Inventeur(s) : FONDANT GILLES.

⑦3 Titulaire(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES.

⑦4 Mandataire(s) : MARKS & CLERK FRANCE Société en nom collectif.

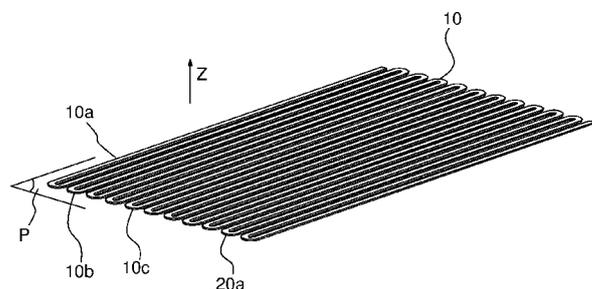
⑤4 PROCEDE D'USINAGE DE PIECE DE FORME COMPLEXE ET DE FAIBLE EPAISSEUR.

⑤7 L'invention porte sur un procédé d'usinage de pièce (10), comprenant deux étapes consistant respectivement à : enlever de la matière dans un bloc de matière, selon une direction principale (Z) et sur une course supérieure à une épaisseur cible de la pièce,

séparer une pièce (10) du bloc de matière par une découpe par fil dans un plan perpendiculaire à la direction principale (Z), positionné de sorte à séparer une pièce (10) d'épaisseur égale à l'épaisseur cible.

Avantageusement, la pièce (10) est constituée d'un alliage métallique. Avantageusement, l'enlèvement de matière est réalisé par fraisage.

Avantageusement, la pièce est séparée du bloc par électroérosion par fil.



FR 3 014 342 - A1



## Procédé d'usinage de pièce de forme complexe et de faible épaisseur

La présente invention concerne le domaine de l'usinage de pièces  
5 de forme complexe et de faible épaisseur. L'invention trouve une utilité particulière pour l'usinage de pièces entrant dans la fabrication d'échangeur thermique haute performance pouvant être mis en œuvre dans certaines installations nucléaires.

10 La conception d'installation nucléaire doit tenir compte de multiples contraintes. Les systèmes et composants intervenants dans l'installation doivent répondre à des cahiers des charges particulièrement ambitieux. Ils doivent satisfaire des réglementations toujours plus exigeantes en matière de sûreté. Des composants peuvent être exposés à des  
15 conditions sévères en termes de température ou de pression, auxquelles peuvent être associées des exigences élevées de durée de vie ou de fiabilité.

Pour la fabrication d'échangeur de chaleur dans une installation nucléaire particulière, il est envisagé la réalisation d'ensemble mécano-  
20 soudés de faible encombrement exposés à des conditions de pression et de température élevées, typiquement de l'ordre de 80 bars pour 550°C. On cherche en particulier à réaliser et souder des pièces de faibles épaisseurs et de formes complexes, telle que représentée sur la figure 1a. Dans cet exemple, la pièce 10 présente une faible épaisseur selon un axe principal Z  
25 typiquement inférieure à 1 mm. Elle décrit une forme complexe dans un plan P perpendiculaire à l'axe principal Z, et présente de grandes dimensions dans ce plan, typiquement jusqu'à 70 cm x 70 cm. Comme représenté sur la figure 1b, la pièce 10 à réaliser est une pièce mâle destinée à être soudée à un corps femelle 11, en formant un ensemble de canaux 12 par lesquels peut  
30 circuler un fluide caloporteur. Pour assurer une qualité de soudure satisfaisante (soudure étanche, résistante aux chocs thermiques, sans défaut d'oxydation ni fissure) et donc une étanchéité parfaite aux canaux, des tolérances d'ajustement ambitieuses sont recherchées, typiquement de l'ordre de H7g6 comme représentées sur la figure 1c.

35 La réalisation d'une telle pièce, de forme complexe et de faible épaisseur, respectant les tolérances d'ajustement, est malaisée. Son usinage

## 2

par des techniques connues implique par exemple le recours à des moyens de bridage complexes et coûteux. Il est souvent nécessaire de déplacer ces moyens de bridage au cours d'usinage. Il peut aussi être nécessaire de retourner les pièces en cours de réalisation. On a également tenté de réaliser  
5 la pièce par fraisage d'une tôle plaquée sur un plateau magnétique assurant le maintien de la pièce. Mais à mesure que l'usinage progresse, la surface magnétisée de la pièce diminue. La tôle, entraînée par l'outil de coupe peut alors glisser de sorte qu'il devient difficile de maintenir une vitesse de coupe satisfaisante, ou de respecter les tolérances recherchées. Cette solution est  
10 aussi inadaptée pour l'usinage de matière amagnétique.

La figure 2 illustre un autre exemple de procédé d'usinage d'une pièce de forme complexe selon l'état connu de la technique. La solution proposée consiste à fragmenter la pièce 10 en plusieurs morceaux 13 que l'on soude ultérieurement, après ajustement sur le corps 11. Ce procédé  
15 n'est pas satisfaisant. La fabrication, l'assemblage et le maintien des nombreux morceaux 13 sur le corps 11 sont délicats, allongeant la durée de fabrication. L'étape de soudure supplémentaire génère aussi un risque supplémentaire de fuite.

20 Il reste donc souhaitable de disposer d'un procédé d'usinage de pièces de forme complexe et de faible épaisseur palliant les inconvénients des procédés de fabrication aujourd'hui envisagés. En particulier, la présente invention vise un procédé d'usinage simple, peu coûteux, satisfaisant aux exigences de tolérance mécanique, et permettant des cadences de  
25 production élevées.

A cet effet, l'invention a pour objet un procédé d'usinage de pièce comprenant au moins deux étapes suivantes :

- une première étape consistant à enlever de la matière dans un bloc de  
30 matière, selon une direction principale et sur une course supérieure à une épaisseur cible de la pièce,
- une seconde étape consistant à séparer une pièce du bloc par une découpe par fil dans un plan perpendiculaire à la direction principale, positionné de sorte que la pièce séparée présente une épaisseur égale à  
35 l'épaisseur cible.

## 3

Avantageusement, la pièce est constituée d'un alliage métallique.

Avantageusement, la première étape consiste à enlever de la matière par fraisage.

5

Avantageusement, la seconde étape consiste à séparer la pièce par électroérosion par fil.

Avantageusement, l'électroérosion par fil est réalisée au moyen d'un fil de cuivre de diamètre compris entre 0.25 et 0.4 mm.

10

Avantageusement, la pièce présente une épaisseur inférieure à 1 mm.

15

Avantageusement, le procédé comprend une étape ultérieure consistant à nettoyer la pièce par ultrasons.

Avantageusement, la première étape est configurée pour enlever de la matière sur une course supérieure à deux fois l'épaisseur cible de la pièce, et la seconde étape est répétée au moins deux fois successivement de manière à séparer au moins deux pièces du bloc de matière.

20

L'invention porte également sur une pièce obtenue par le procédé d'usinage selon l'une des revendications précédentes.

25

L'invention sera mieux comprise et d'autres avantages apparaîtront à la lecture de la description détaillée des modes de réalisation donnés à titre d'exemple sur les figures suivantes.

Les figures 1a, 1b et 1c, déjà présentées, représentent une pièce de forme complexe et de faible épaisseur que l'on cherche à réaliser,

30

la figure 2, déjà présentée, illustre un procédé d'usinage de pièce de forme complexe et de faible épaisseur selon l'état connu de la technique,

les figures 3a, 3b, 3c, 3d et 3e illustrent un exemple de procédé d'usinage selon l'invention d'une pièce de forme complexe et de faible épaisseur.

35

## 4

Par souci de clarté, les mêmes éléments porteront les mêmes repères dans les différentes figures.

Le procédé illustré par les figures 3a à 3e permet de réaliser une  
5 pièce similaire à celle décrite en préambule et représentée sur la figure 1a.  
La pièce 10 que l'on cherche à réaliser présente une faible épaisseur selon  
un axe principal Z. La pièce comprend deux surfaces principales planes 10a  
et 10b sensiblement parallèles entre elles et perpendiculaires à l'axe  
principal Z. La surface 10a, contenue dans le plan P perpendiculaire à l'axe  
10 Z, est délimitée par un contour 20a de forme complexe. La pièce 10  
comprend également une surface courbe 10c, définie par un ensemble de  
génératrices, par exemple parallèles à l'axe principal Z, joignant les contours  
des surfaces principales 10a et 10b. Les surfaces principales 10a et 10b  
présente une forme générale de serpent, de faible largeur et de grande  
15 longueur. Les dimensions extérieures typiques du serpent sont de l'ordre  
de 70 cm x 70 cm. La longueur des contours des surfaces principales sont  
de l'ordre de 45 m. L'épaisseur typique de la pièce est comprise entre 0.3  
mm et 1 mm. La forme et les dimensions particulières de la pièce  
représentée sur les figures rendent sa fabrication particulièrement délicate. Il  
20 est toutefois bien entendu que le procédé selon l'invention ne se limite pas à  
cette pièce particulière. Le procédé selon l'invention porte plus largement sur  
l'usinage de pièce de toute forme. Le procédé trouve une utilité particulière  
pour la réalisation de pièce de faible épaisseur selon un axe principal et de  
forme complexe dans un plan perpendiculaire à cet axe.

25

L'idée générale de la présente invention consiste à réaliser la  
pièce en deux étapes principales :

- une première étape consistant à enlever de la matière d'un bloc de  
matière selon une direction principale, et sur une course supérieure à  
30 l'épaisseur cible de la pièce à réaliser, et
- une seconde étape consistant à séparer du bloc une pièce par une  
découpe par fil dans un plan perpendiculaire à la direction principale ;  
ledit plan étant positionné de sorte à séparer une pièce d'épaisseur  
égale à l'épaisseur cible.

35

Nous allons détailler les deux étapes principales respectivement au moyen des figures 3a et 3b. La première étape du procédé, illustrée par la **figure 3a**, consiste à enlever de la matière d'un bloc de matière 30, par exemple de forme parallélépipédique, selon une direction principale. La pièce à réaliser est préférentiellement constituée d'un alliage métallique, par exemple de l'acier inoxydable. Plusieurs procédés permettant d'enlever de la matière du bloc sont envisagés par l'invention. Le fraisage est notamment envisagé. Une face 31 du bloc de matière 30 est ainsi fraisée dans une direction principale de coupe, référencée 33, perpendiculaire à la face 31 du bloc. L'étape de fraisage est paramétrée de manière à respecter les contours de la pièce à réaliser. La surface non usinée de la face 31 correspond à la surface principale 10a de la pièce à réaliser. La surface générée par le fraisage correspond à la surface 10c. La direction principale de coupe 33 correspond à l'axe principal Z de la pièce à réaliser.

Cette étape d'usinage dans la masse de la forme complexe de la pièce est particulièrement avantageuse. La pièce reste solidaire du bloc pendant toute la durée de l'étape de fraisage. Le recours à des techniques de bridages fastidieuses n'est donc plus nécessaire. Le procédé s'affranchit également du risque de glissement rencontré dans le cas du fraisage d'une tôle maintenue sur une plaque magnétique. Il devient possible de respecter des tolérances d'usinage très précises.

La **figure 3b** illustre la seconde étape du procédé consistant à séparer une pièce du bloc de matière par une découpe par fil dans un plan perpendiculaire à la direction principale. Le plan de la découpe est préférentiellement parallèle à la face 31 du bloc de matière. Le plan est positionné à une distance de la face 31 égale à l'épaisseur cible, de sorte à séparer une pièce d'épaisseur égale à l'épaisseur cible. La découpe par fil permet avantageusement de réaliser des pièces de très faibles épaisseurs, par exemple de l'ordre de 0.3 mm.

Dans le cas d'un alliage métallique, il est envisagé une découpe par fil par électroérosion. Avantageusement, l'électroérosion par fil est réalisée au moyen d'un fil de cuivre de diamètre compris entre 0.25 et 0.4 mm. Des précisions de l'ordre de 50  $\mu\text{m}$  pour un état de surface de 0.1  $\mu\text{m}$  de  $R_a$  ont ainsi été obtenues par découpe au fil de cuivre de 0.25 mm ou

0.35mm de diamètre. La capacité de découpe est élevée, typiquement de l'ordre de 325 mm<sup>2</sup>/minute.

La combinaison des deux étapes selon l'invention est donc particulièrement avantageuse. Elle permet de découpler les deux contraintes de fabrication particulières des pièces envisagées : une grande précision d'usinage de la forme complexe dans un plan, et une faible épaisseur de pièce perpendiculairement au plan. La première étape permet un usinage dans la masse très précis de la forme complexe, compatible avec les tolérances mécaniques recherchées. La seconde étape permet une séparation précise et fiable de pièces de très faibles épaisseurs. Les deux étapes sont en outre simples, peu coûteuses et adaptées à des cadences de production relativement élevées.

Les figures 3c, 3d et 3e illustrent des étapes ultérieures de procédé pouvant être appliquées à la pièce. La **figure 3c** représente la pièce 10 obtenue à l'issue des deux premières étapes du procédé. A l'issue de l'étape de séparation de la pièce du bloc de matière, le procédé peut comprendre une étape de nettoyage. Cette étape de nettoyage peut consister à toiler à la main le coté électro-érodé afin de décoller les particules de cuivre ou d'oxyde générées lors de la découpe. Un nettoyage par ultrasons est également envisagé. Cette étape peut aussi comprendre une sous-étape de dégraissage.

La **figure 3d** représente la pièce 10 et un corps 11 en cours d'assemblage. Dans une mise en œuvre particulière, mentionnée en préambule, la pièce 10 obtenue par le procédé est une pièce mâle destinée à être soudée à un corps femelle 11 pour former un ensemble de canaux 12 par lesquels peut circuler un fluide caloporteur. Dans ce cas, le procédé peut aussi comprendre des étapes de positionnement et de maintien de la pièce 10 en regard de cavités 11a de la pièce 11.

La **figure 3e** représente la pièce 10 et le corps 11 après assemblage. Diverses techniques de soudure sont possibles pour assurer une liaison étanche le long du contour de la pièce 10. La soudure laser est notamment envisagée. La grande précision d'usinage de la pièce, rendue possible par le procédé selon l'invention, permet une jointure précise de la pièce 10 et du corps 11 tout le long du contour. Une soudure étanche et

homogène, sans défaut de jointure ou d'écartement partiel le long du contour de la forme complexe de la pièce, devient possible.

Dans une mise en œuvre avantageuse du procédé, plusieurs  
5 pièces peuvent être réalisées à partir d'un même bloc de matière. Les étapes principales, d'usinage dans la masse et de séparation par découpe par fil, pourront être répétées successivement dans un même bloc. Pour cela, le procédé peut comprendre une étape supplémentaire consistant à rétablir une face plane en surface du bloc de matière entre les opérations successives  
10 d'usinage et de séparation, par exemple par une étape supplémentaire de découpe par fil.

Il est aussi envisagé de répéter l'étape de découpe par fil de sorte à produire plusieurs pièces entre chaque étape d'usinage dans la masse. Pour cela, on pourra avantageusement configurer la première étape pour  
15 enlever de la matière sur une course importante, au moins égale à deux fois l'épaisseur cible de la pièce, et répéter la seconde étape au moins deux fois de sorte à séparer au moins deux pièces du bloc de matière.

L'invention porte aussi sur une pièce obtenue au moyen d'un  
20 procédé ayant les caractéristiques précédemment décrites.

## REVENDICATIONS

1. Procédé d'usinage de pièce (10), caractérisé en ce qu'il comprend deux étapes :

- 5
- une première étape consistant à enlever de la matière dans un bloc de matière (30), selon une direction principale (33) et sur une course supérieure à une épaisseur cible de la pièce (10),
  - une seconde étape consistant à séparer une pièce (10) du bloc (30) par une découpe par fil (32) dans un plan perpendiculaire à la direction principale (33), positionné de sorte que la pièce séparée (10) présente une épaisseur égale à l'épaisseur cible.
- 10

2. Procédé d'usinage selon la revendication 1, dont la pièce (10) est constituée d'un alliage métallique.

15

3. Procédé d'usinage selon l'une des revendications 1 ou 2, dont la première étape consiste à enlever de la matière par fraisage.

4. Procédé d'usinage selon l'une des revendications 1 à 3, dont la seconde étape consiste à séparer la pièce (10) par électroérosion par fil.

5. Procédé d'usinage selon la revendication 4, dont l'électroérosion par fil est réalisée au moyen d'un fil de cuivre de diamètre compris entre 0.25 et 0.4 mm.

25

6. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dont la pièce (10) présente une épaisseur inférieure à 1 mm.

7. Procédé selon l'une des revendications précédentes, comprenant une étape ultérieure consistant à nettoyer la pièce (10) par ultrasons.

30

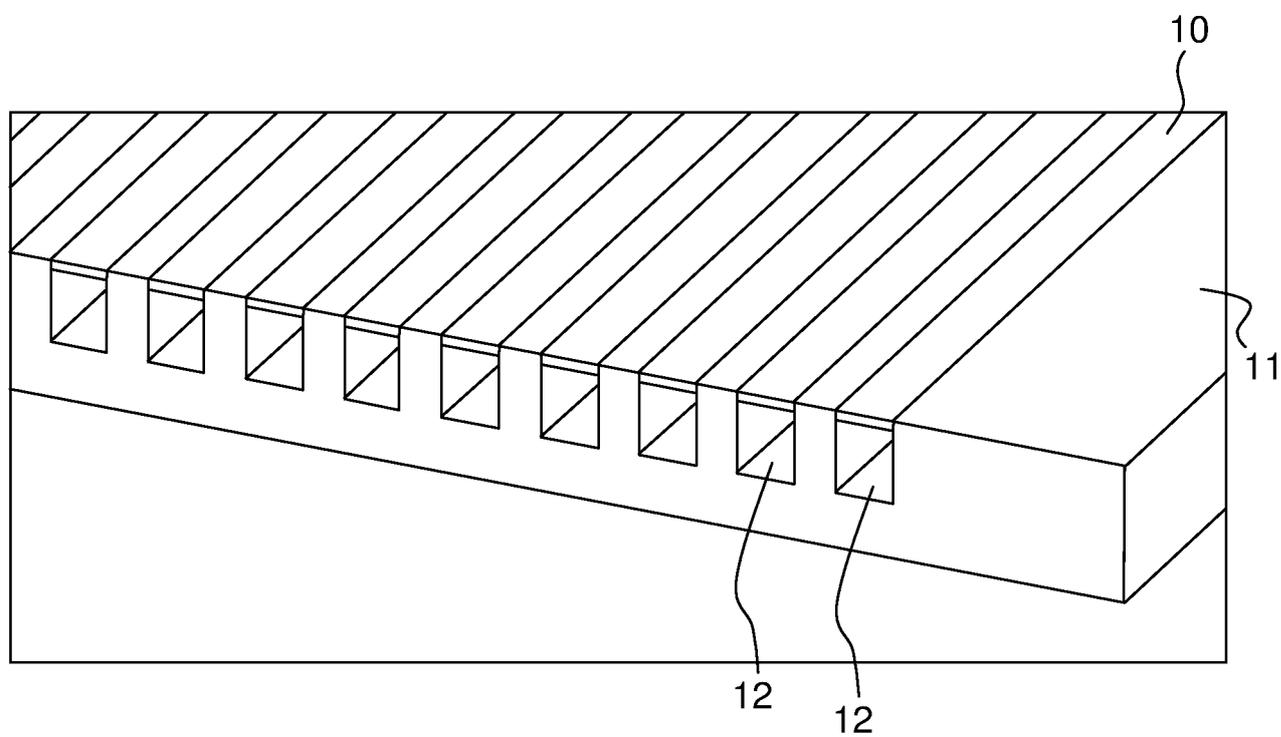
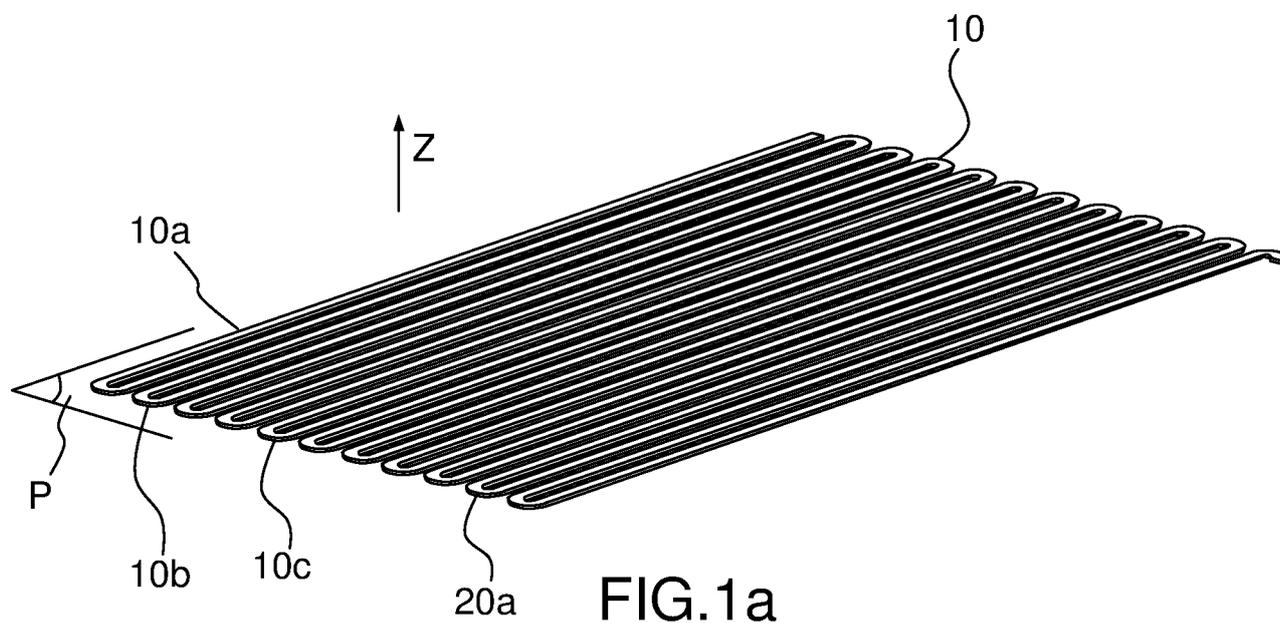
8. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dont la première étape est configurée pour enlever de la matière sur une course supérieure à deux fois l'épaisseur cible de la pièce (10), et dont la seconde étape est répétée au moins deux fois successivement de manière à séparer au moins deux pièces (10) du bloc de matière (30).

35

**9**

9. Pièce obtenue par le procédé d'usinage selon l'une des revendications précédentes.

1/5



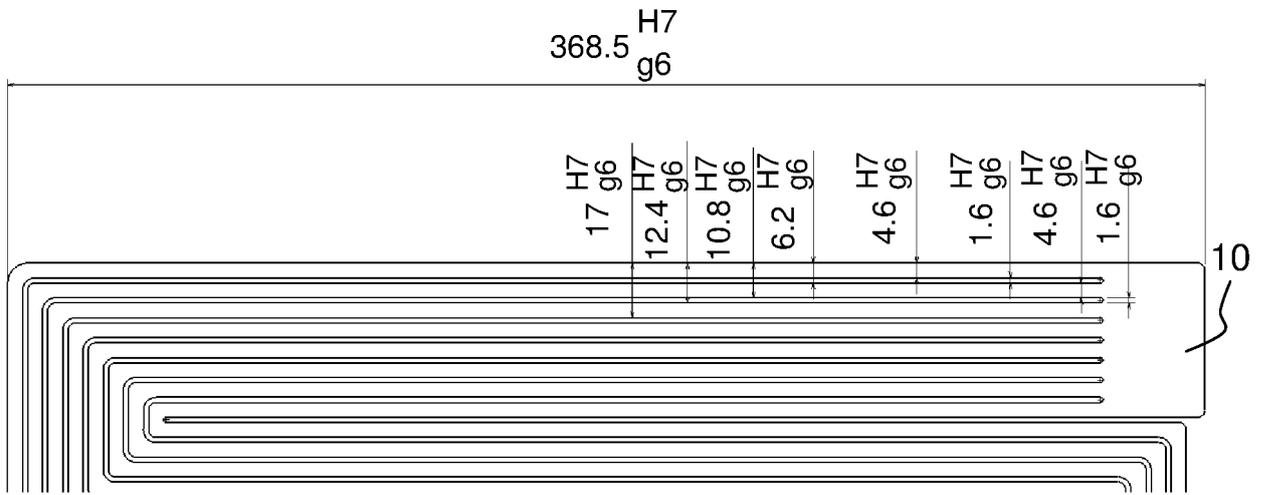


FIG.1c

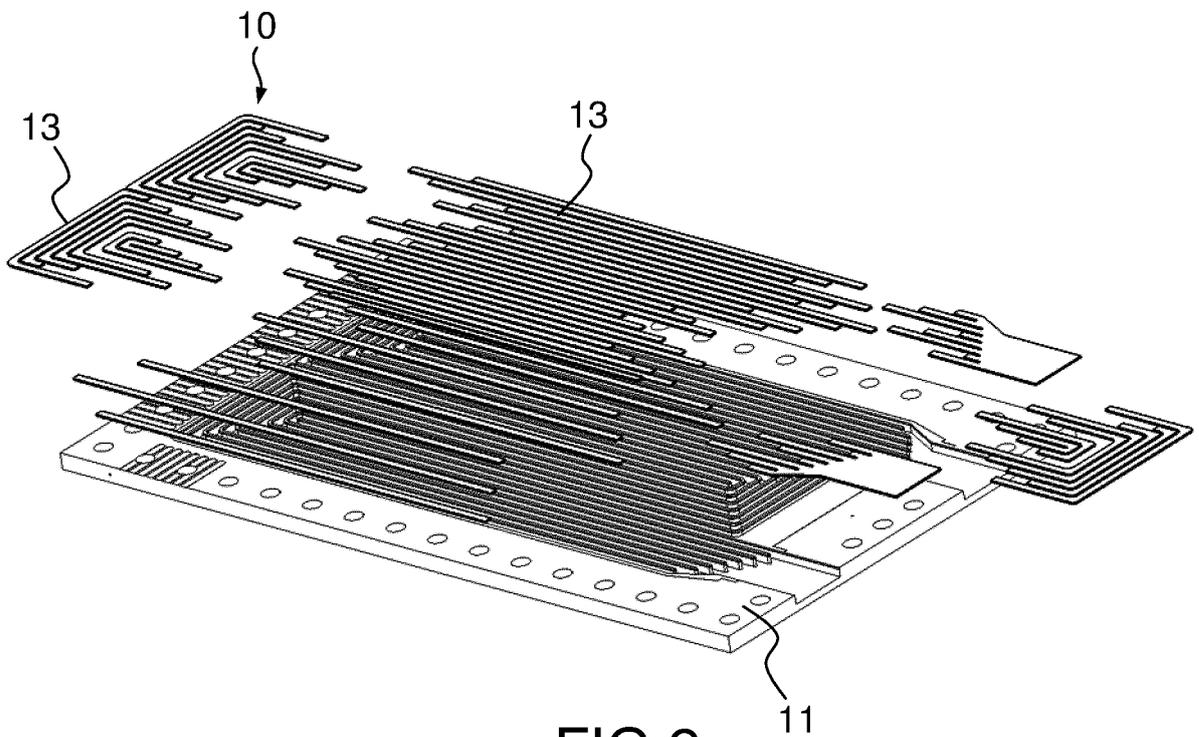


FIG.2

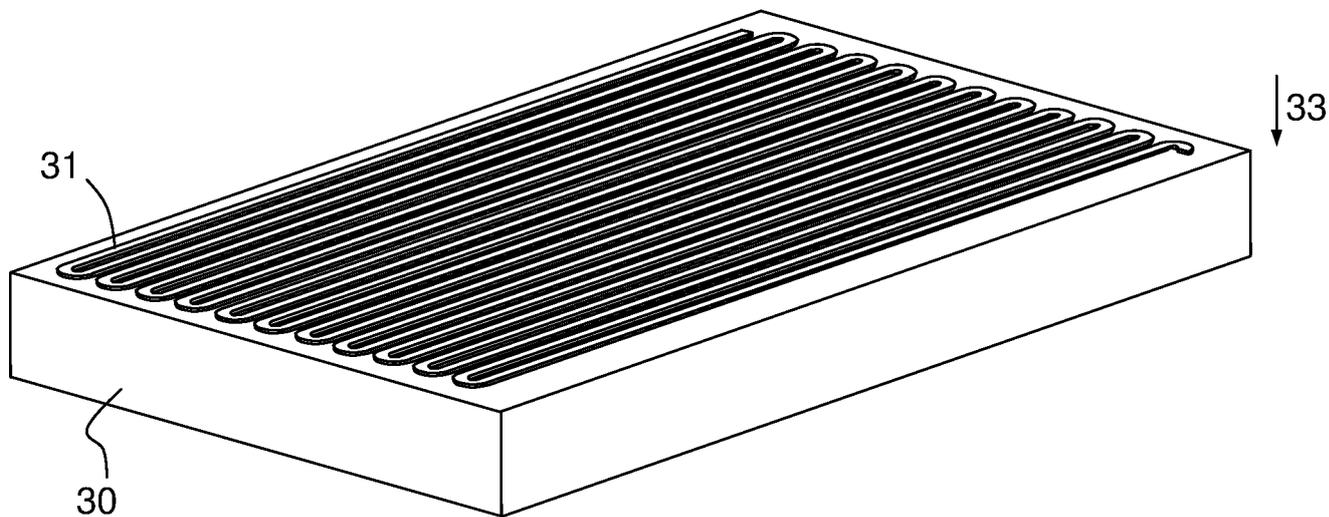


FIG. 3a

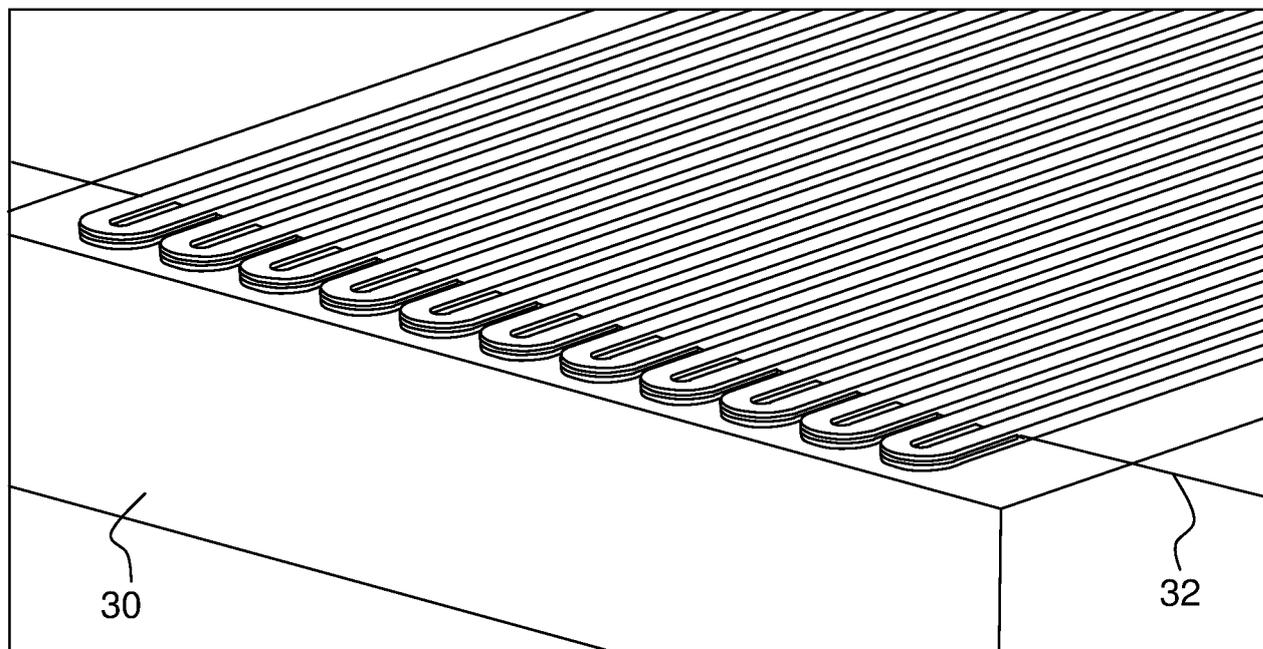


FIG. 3b

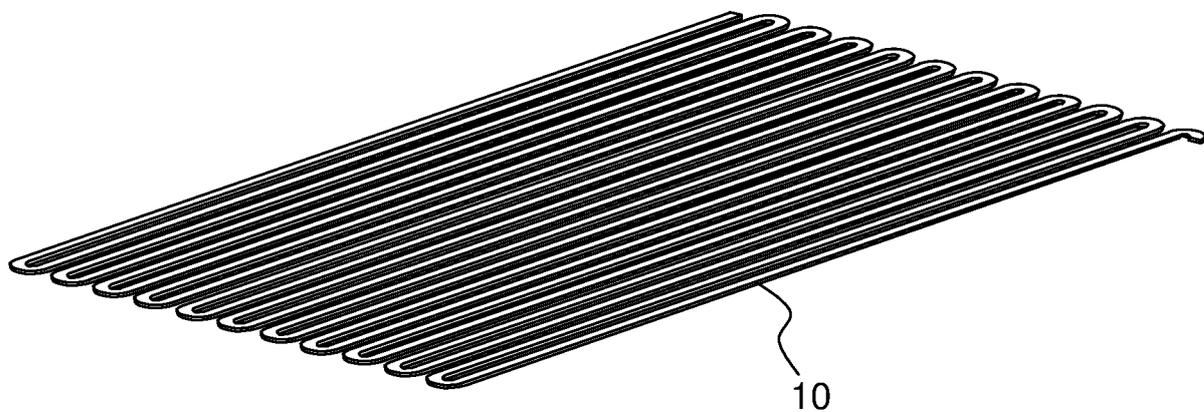


FIG. 3c

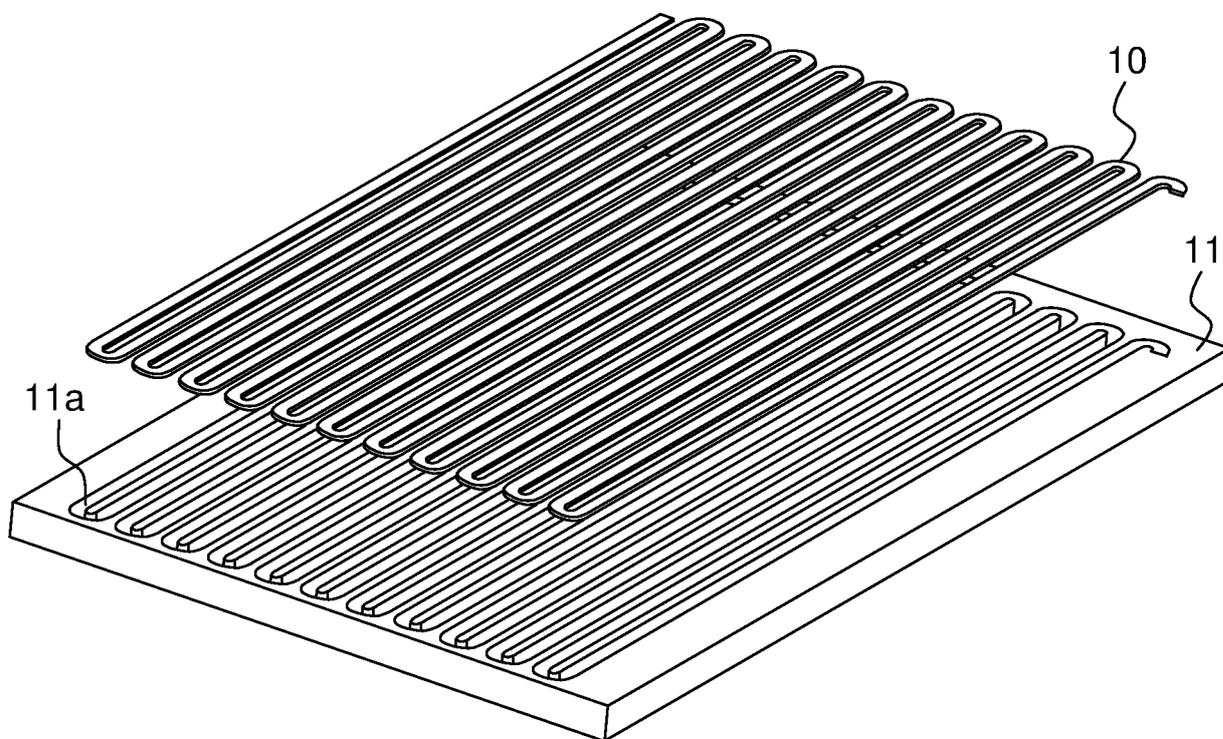


FIG. 3d

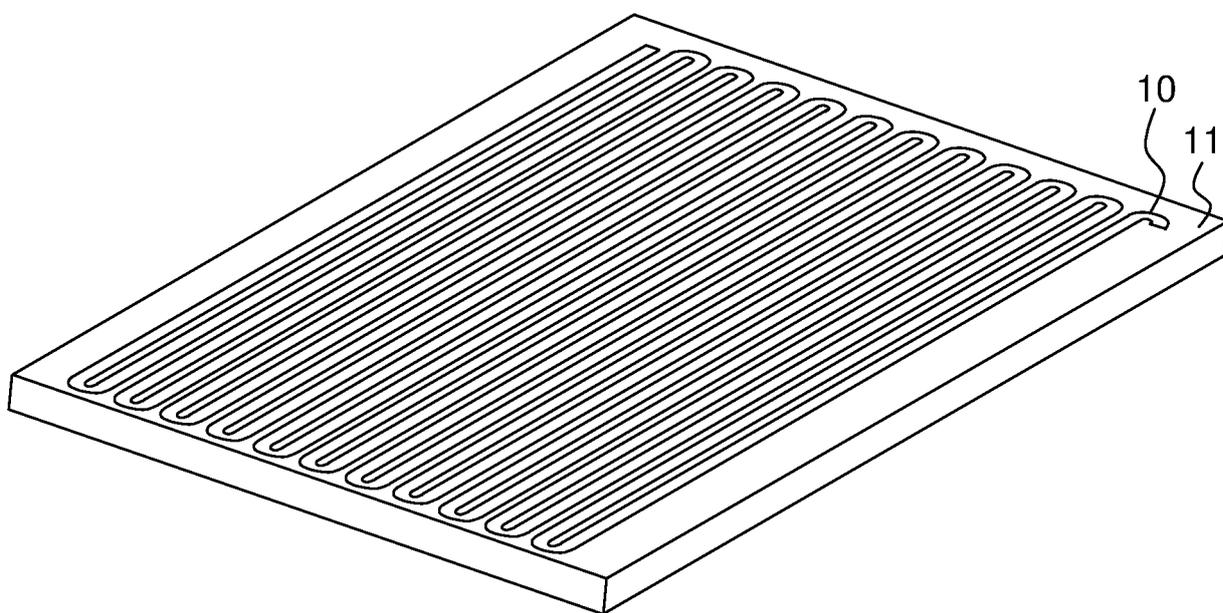


FIG.3e



**RAPPORT DE RECHERCHE  
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement  
national

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

FA 791498  
FR 1362236

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	US 2013/072005 A1 (FUJIKURA HAJIME [JP]) 21 mars 2013 (2013-03-21)	1,4,6-9	B23P15/26
Y	* alinéas [0031] - [0034]; figures 1,4 *	5	
X	US 2011/163326 A1 (MATSUMOTO NAOKI [JP]) 7 juillet 2011 (2011-07-07)	1,4,6,9	
	* alinéas [0070] - [0072]; figures 4,5,11 *		
X	JP 2002 254249 A (CANON KK) 10 septembre 2002 (2002-09-10)	1-4,7,9	
	* abrégé; figures * * alinéas [0021], [0034], [0041] *		
Y	US 2011/114603 A1 (MAI CHAO-CHUANG [TW] ET AL) 19 mai 2011 (2011-05-19)	5	
	* alinéas [0020], [0021]; figure 1 *		
A	FR 2 879 489 A1 (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE [FR]) 23 juin 2006 (2006-06-23)	1,6,9	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
	* page 1, ligne 4 - ligne 8 * * page 5, ligne 5 - ligne 11 * * page 6, ligne 26 - ligne 28 * * page 7, ligne 25 - page 8, ligne 6 * * figures 2-5 *		B23P B23H F28D F28F B23Q B23C G21C H01L
A	WO 2011/026925 A1 (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE [FR]; RIGAL EMMANUEL [FR]; BUCCI PHILIPP) 10 mars 2011 (2011-03-10)	9	
	* page 16, ligne 23 - ligne 26; figures 2,3 *		
A	US 2002/153130 A1 (OKAMOTO KAZUTAKA [JP] ET AL) 24 octobre 2002 (2002-10-24)	9	
	* alinéa [0021]; figures *		
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
7 août 2014		Sérgio de Jesus, E	
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	
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie		à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.	
A : arrière-plan technologique		D : cité dans la demande	
O : divulgation non-écrite		L : cité pour d'autres raisons	
P : document intercalaire		& : membre de la même famille, document correspondant	

1

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1362236 FA 791498**

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 **07-08-2014**

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 2013072005	A1	21-03-2013	JP 2013060349 A US 2013072005 A1	04-04-2013 21-03-2013
-----				
US 2011163326	A1	07-07-2011	CN 102149857 A JP 5104830 B2 JP 2010087486 A JP 2013032278 A TW 201012614 A US 2011163326 A1 US 2012319129 A1 WO 2010027044 A1	10-08-2011 19-12-2012 15-04-2010 14-02-2013 01-04-2010 07-07-2011 20-12-2012 11-03-2010
-----				
JP 2002254249	A	10-09-2002	AUCUN	
-----				
US 2011114603	A1	19-05-2011	TW 201117900 A US 2011114603 A1	01-06-2011 19-05-2011
-----				
FR 2879489	A1	23-06-2006	AT 423651 T EP 1827749 A1 ES 2322611 T3 FR 2879489 A1 JP 2008524545 A US 2008116246 A1 WO 2006067349 A1	15-03-2009 05-09-2007 23-06-2009 23-06-2006 10-07-2008 22-05-2008 29-06-2006
-----				
WO 2011026925	A1	10-03-2011	CN 102481658 A EP 2475493 A1 FR 2949699 A1 JP 2013503750 A KR 20120062851 A US 2012160900 A1 WO 2011026925 A1	30-05-2012 18-07-2012 11-03-2011 04-02-2013 14-06-2012 28-06-2012 10-03-2011
-----				
US 2002153130	A1	24-10-2002	JP 3818084 B2 JP 2002248584 A KR 20020051857 A TW 506874 B US 2002153130 A1 US 2004194942 A1 US 2006096748 A1 US 2007163120 A1	06-09-2006 03-09-2002 29-06-2002 21-10-2002 24-10-2002 07-10-2004 11-05-2006 19-07-2007
-----				