

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

①① N° de publication : **3 019 993**  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

②① N° d'enregistrement national : **14 53423**

⑤① Int Cl<sup>8</sup> : **A 61 M 25/09 (2014.01)**

⑫

## BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ FIL DE GUIDAGE A FLEXIBILITE VARIABLE CONTROLEE.

②② Date de dépôt : 16.04.14.

③③ Priorité :

④③ Date de mise à la disposition du public  
de la demande : 23.10.15 Bulletin 15/43.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du  
brevet d'invention : 19.07.19 Bulletin 19/29.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de  
recherche :

*Se reporter à la fin du présent fascicule*

⑥⑥ Références à d'autres documents nationaux  
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : *INSTITUT NATIONAL DES  
SCIENCES APPLIQUEES DE LYON Etablissement  
public à caractère scientifique et culturel —FR,  
UNIVERSITE CLAUDE BERNARD LYON 1 FR et  
HOSPICES CIVILS DE LYON — FR.*

⑦② Inventeur(s) : LERMUSIAUX PATRICK, CAPSAL  
JEAN-FABIEN, COTTINET PIERRE-JEAN, PETIT  
LIONEL et MILLON ANTOINE.

⑦③ Titulaire(s) : *INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES  
APPLIQUEES DE LYON Etablissement public à  
caractère scientifique et culturel, UNIVERSITE  
CLAUDE BERNARD LYON 1, HOSPICES CIVILS DE  
LYON.*

⑦④ Mandataire(s) : REGIMBEAU.

FR 3 019 993 - B1



## **FIL DE GUIDAGE A FLEXIBILITE VARIABLE CONTROLEE**

### **DOMAINE DE L'INVENTION**

5 La présente invention concerne le domaine technique général des dispositifs médicaux.

Elle concerne plus particulièrement un fil de guidage – notamment connu sous le nom de guide-fil – pour assister le cathétérisme d'un patient.

10

### **PRESENTATION DE L'ART ANTERIEUR**

Depuis quelques années, l'angioplastie est considérée comme un procédé efficace pour traiter différents types de maladies vasculaires. Par exemple, l'angioplastie  
15 peut être utilisée pour l'ouverture d'une sténose dans une artère coronaire en utilisant un cathéter à dilatation incluant un ballonnet gonflable à son extrémité distale.

Lors de la procédure d'angioplastie, trois instruments médicaux sont généralement  
20 utilisés préalablement à la mise en place des outils – tels qu'un cathéter à dilatation – nécessaires à l'intervention :

- un premier guide-fil dit « de navigation » présentant une flexibilité très importante pour permettre un déplacement précis du guide-fil à l'intérieur du système vasculaire du patient.
- 25 - un premier cathéter dit « de changement de guide » présentant une flexibilité très importante,
- un deuxième guide-fil dit « de support » moins flexible que le guide-fil de navigation, sa plus grande rigidité lui permettant de supporter les différents outils (cathéter à dilatation, etc.) nécessaires à la procédure d'angioplastie.

30

Les premières étapes de la procédure d'angioplastie sont les suivantes.

Le guide-fil de navigation est déplacé à l'intérieur du système vasculaire jusqu'à ce que son extrémité distale soit positionnée au niveau de la zone à traiter. Grâce à la

fluoroscopie, le médecin peut contrôler la position du guide-fil de navigation dans le système vasculaire. La grande flexibilité de ce guide-fil de navigation facilite son déplacement à l'intérieur du système vasculaire du patient, et notamment au niveau des embranchements entre différents vaisseaux sanguins. Pour déplacer le guide-fil  
5 de navigation vers la zone à traiter, un cathéter préformé peut être utilisé.

Une fois l'extrémité du guide-fil de navigation positionnée au niveau de la zone à traiter, le cathéter de changement de guide est mis en place sur le guide-fil de navigation. Le cathéter de changement de guide est généralement tubulaire, et  
10 comprend un canal de guidage dans lequel est introduit le guide-fil de navigation de sorte que le cathéter entoure le guide-fil de navigation. Pour déplacer le cathéter de changement de guide jusqu'à la zone à traiter, celui-ci est poussé sur le guide-fil de navigation.

15 Lorsque l'extrémité distale du cathéter de changement de guide est en position au niveau de la zone à traiter, le guide-fil de navigation est remplacé par le guide-fil de support. Le guide-fil de navigation est retiré et le guide-fil de support est introduit dans le canal de guidage du cathéter de changement de guide.

20 Une fois l'extrémité du guide-fil de support en position au niveau de la zone à traiter, le cathéter de changement de guide est retiré et les différents outils nécessaires à l'intervention sont déplacés dans le système vasculaire du patient le long du guide-fil de support.

25 Ainsi, la procédure d'angioplastie nécessite la mise en place et le retrait de différents guide-fils (notamment guide-fil de navigation et guide-fil support). La procédure de changement de guide aboutit souvent au fait que le fil guide de navigation qui a été positionné dans l'artère cible, va être éjecté de cette artère, ce qui va nécessiter de renouveler la manœuvre de cathétérisme, parfois sans succès.

30

Il est généralement admis qu'il n'est pas souhaitable d'insérer, de faire avancer et de retirer une série de guide-fils au cours d'une procédure d'angioplastie.

En effet, les insertions répétées des guide-fils augmentent le risque de lésion du patient et augmentent également la durée nécessaire pour l'opération.

5 Ces insertions répétées exigent également que le patient soit exposé à des radiations supplémentaires car une fluoroscopie supplémentaire est nécessaire pour placer convenablement les guide-fils successifs au niveau de la zone à traiter.

Un but de la présente invention est de proposer un fil de guidage permettant de réaliser à la fois les fonctions du guide-fil de navigation et du guide-fil de support.  
10 Plus précisément, un but de la présente invention est de proposer un fil de guidage qui soit :

- aussi flexible qu'un guide-fil de navigation pour faciliter son déplacement à l'intérieur du système vasculaire d'un patient,
- aussi rigide qu'un guide-fil de support pour servir de support aux instruments  
15 nécessaires à une procédure interventionnelle à l'intérieur du système vasculaire du patient.

### **RESUME DE L'INVENTION**

20 A cet effet, l'invention propose un fil de guidage d'un cathéter destiné à être introduit à l'intérieur du système vasculaire d'un patient durant une procédure interventionnelle, le fil de guidage comportant :

- un cœur de fil flexible s'étendant longitudinalement, et
- un élément raidisseur activable incluant au moins des première et deuxième  
25 bornes électriquement conductrices, l'élément raidisseur s'étendant autour du cœur de fil flexible, l'application d'une tension électrique entre les première et deuxième bornes de l'élément raidisseur induisant une variation de la flexibilité du fil de guidage entre une première valeur de rigidité à la flexion et une deuxième valeur de rigidité à la flexion supérieure à la  
30 première valeur de rigidité à la flexion.

Ainsi, le fil de guidage a une grande flexibilité lorsqu'aucune tension d'excitation n'est appliquée à l'élément raidisseur. L'opérateur peut le faire naviguer vers la

zone à traiter, éventuellement en s'aidant d'un cathéter préformé. Une fois l'extrémité du fil de guidage en position au niveau de la zone à traiter, la flexibilité du fil de guidage (i.e. sa rigidité à la flexion) peut être modifiée en utilisant un effet piézoélectrique ou électrostrictif ou magnétostrictif ou entropique en fonction de la nature de l'élément raidisseur.

En diminuant la flexibilité du fil de guidage lorsque son extrémité est en position au niveau de la zone à traiter, il est alors possible de déplacer les différents outils nécessaires à l'intervention (cathéter à ballonnet, stent, etc.) le long du fil de guidage devenu rigide sans avoir à remplacer le fil de guidage.

Ainsi, la présente invention propose un fil de guidage unique jouant les fonctions d'un guide-fil de navigation et d'un guide-fil de support. Ceci permet d'éviter des procédures laborieuses de changement de guide-fil.

Si une procédure de changement de guide est cependant nécessaire pour la mise en place d'un guide-fil encore plus rigide, la manœuvre sera simplifiée puisqu'il sera possible d'utiliser un cathéter de changement de guide plus rigide qu'habituellement.

Des aspects préférés mais non limitatifs du fil de guidage selon l'invention sont les suivants :

- l'élément raidisseur peut comprendre :
  - o une gaine tubulaire constituée dans un matériau électro-actif, ladite gaine s'étendant autour du cœur de fil flexible,
  - o un premier ensemble formant électrode sur la face interne de la gaine,
  - o un deuxième ensemble formant électrode sur la face externe de la gaine ;

l'utilisation d'une gaine en matériau électro-actif permet d'une part de faciliter la fabrication du fil de guidage, et d'autre part de disposer d'un élément raidisseur dont le changement de flexibilité est très rapide une fois une commande appliquée sur celui-ci,

- l'élément raidisseur peut également comprendre une enveloppe électriquement isolante autour de la gaine tubulaire ; ceci permet d'éviter toute conduction électrique entre le patient et le fil de guidage,  
5
- le matériau électro-actif peut être choisi parmi un polymère ferroélectrique, un composite ferroélectrique, ou un polymère électrostrictif ; ceci permet de disposer d'un élément raidisseur dont la variation de flexibilité est compatible avec les applications chirurgicales visées,  
10
- l'épaisseur de la gaine peut être comprise entre 20  $\mu\text{m}$  et 500  $\mu\text{m}$  ; ceci permet de disposer d'un fil de guidage dont la section est compatible avec les applications chirurgicales visées,  
15
- le premier ensemble peut être constitué d'une première électrode métallique tubulaire unique s'étendant sur toute la face interne de la gaine, ceci permet de faciliter la fabrication du fil de guidage, notamment en limitant le nombre de bornes électriquement conductrices nécessaires,  
20
- de même, le deuxième ensemble peut être constitué d'une deuxième électrode métallique tubulaire s'étendant sur toute la face externe de la gaine ;  
25
- en variante, le deuxième ensemble peut comprendre une pluralité d'électrodes indépendantes les unes des autres ; même si ceci complexifie la fabrication du fil de guidage en augmentant le nombre de bornes nécessaires et en nécessitant la mise en place de liaisons électriques entre ces bornes et les différentes électrodes, ceci permet de disposer d'un fil de guidage dont l'orientation et la rigidité peuvent être  
30
- les électrodes de la pluralité d'électrodes peuvent être adjacentes radialement et s'étendre sur toute la longueur de la gaine ;

- les électrodes de la pluralité d'électrodes peuvent être adjacentes longitudinalement, chaque électrode de la pluralité d'électrodes s'étendant sur une portion de la longueur de la gaine.

5

L'invention concerne également un fil de guidage d'un cathéter destiné à être introduit à l'intérieur du système vasculaire d'un patient durant une procédure interventionnelle, le fil de guidage comportant :

- un cœur de fil flexible s'étendant longitudinalement, et
- 10 - un capteur de déformation incluant au moins des première et deuxième bornes électriquement conductrices, le capteur de déformation s'étendant autour du cœur de fil flexible, une propriété électrique – telle que la conductivité – du capteur de déformation variant en réponse à l'application d'un effort – tel qu'une flexion ou une torsion – le long du fil de guidage, les
- 15 première et deuxième bornes du capteur permettant de recevoir un signal représentatif de l'effort appliqué le long du fil de guidage.

Ainsi, outre son rôle de modificateur de rigidité à la flexion, l'élément raidisseur peut également servir de capteur d'effort ou de déformation. Ceci permet de disposer

20 d'un retour d'information pour des applications haptiques (retour d'effort).

Des aspects préférés mais non limitatifs du fil de guidage incorporant un capteur de déformation sont les mêmes que ceux décrits précédemment en référence au fil de guidage incluant un élément raidisseur.

25

### **BREVE DESCRIPTION DES DESSINS**

D'autres avantages et caractéristiques du procédé selon l'invention et du produit associé ressortiront mieux de la description qui va suivre de plusieurs variantes

30 d'exécution, données à titre d'exemples non limitatifs, à partir des dessins annexés sur lesquels les figures 1 à 4 illustrent différents modes de réalisation du fil de guidage selon l'invention.

## **DESCRIPTION DETAILLEE DE L'INVENTION**

On va maintenant décrire différents exemples de fils de guidage selon l'invention. Dans ces différentes figures, les éléments équivalents sont désignés par la même  
5 référence numérique.

Comme indiqué précédemment, un tel fil de guidage peut être utilisé pour une étude du système vasculaire d'un patient. Toutefois, il est bien évident pour l'homme du  
10 métier que le fil de guidage selon l'invention peut être utilisé dans d'autres domaines que l'angioplastie, tels que la gastroentérologie, l'urologie. Il est donc bien évident également pour l'homme du métier que les dimensions (et notamment le diamètre) du fil de guidage peuvent varier et que les différents éléments mentionnés  
15 ci-après en référence à différentes variantes de fil de guidage selon l'invention peuvent être modifiés sans sortir matériellement des nouveaux enseignements présentés ci-dessous.

En référence à la figure 1, le fil de guidage est un corps longitudinal 1 incluant une extrémité proximale 11 et une extrémité distale 12 destinée à être positionnée au  
20 niveau d'une zone à traiter à l'intérieur du corps du patient.

Le fil de guidage comprend un cœur de fil 2 flexible s'étendant longitudinalement. Ce cœur de fil 2 est par exemple circulaire en section, de diamètre compris entre 20 et 500 micromètres, et de longueur comprise entre 1 et 5 mètres. Il peut être  
25 constitué dans un matériau polymère ou métallique.

Dans tous les cas, le cœur de fil 2 présente une flexibilité importante. Plus précisément, le cœur de fil 2 présente une rigidité à la flexion comprise entre 2,93 et 43,90 kg cm<sup>2</sup>.

30 Le fil de guidage comprend également un élément raidisseur 3. L'élément raidisseur 3 s'étend sur toute la face latérale du cœur de fil 2 et recouvre celui-ci.

La flexibilité de l'élément raidisseur 3 est variable entre une première valeur de rigidité à la flexion et une deuxième valeur de rigidité à la flexion supérieure à la première valeur rigidité à la flexion. Notamment, la première valeur de rigidité à la flexion est comprise entre 2,93 et 43,90 kg cm<sup>2</sup>, et la deuxième valeur de rigidité à la flexion est comprise entre 44 et 100 kg cm<sup>2</sup>.

Avantageusement, la variation de flexibilité de l'élément raidisseur 3 est contrôlable. Plus précisément, l'élément raidisseur 3 est apte à être commandé pour faire varier sa flexibilité en réponse à une excitation électrique. Lorsqu'aucune tension électrique n'est appliquée sur l'élément raidisseur 3, sa flexibilité correspond à la première valeur de rigidité à la flexion. Lorsqu'une tension électrique est appliquée sur l'élément raidisseur 3, sa flexibilité correspond à la deuxième valeur de rigidité à la flexion.

Ainsi, l'application d'une tension électrique sur l'élément raidisseur 3 rend le fil de guidage plus rigide. Pour permettre l'application d'une tension électrique sur l'élément raidisseur 3, celui-ci comprend des bornes de connexion électriquement conductrices. Ces bornes sont localisées au niveau de l'extrémité proximale 11 du fil de guidage. Ces bornes sont destinées à être connectées à un générateur de tension pour application de la tension d'excitation.

Comme illustré à la figure 2, l'élément raidisseur 3 comprend une gaine tubulaire 33 enveloppant le cœur de fil 2. La gaine 33 est constituée dans un matériau électro-actif, et présente une épaisseur comprise entre 20 micromètres et 500 micromètres.

25

Le matériau électro-actif peut être choisi parmi :

- i) les polymères organiques ferroélectriques, et notamment :
  - les polyamides impairs, ou
  - les polymères fluorés de type polymère de poly-vinylidène-fluorideP(VDF), ou copolymère de vinylidène-trifluoroéthylèneP(VDF-TrfFE) ;
- ii) les composites ferroélectriques, et notamment :
  - les polymères à base de particules céramiques ferroélectriques,

30

- les polymères à base de Baryum Titanate ( $\text{BaTiO}_3$ ), ou de titanate zirconate de plomb (PZT)
- iii) les polymères électrostrictifs tels que
  - des terpolymères fluorés ou
  - des terpolymères fluorés incluant un plastifiant.

C'est l'application d'une tension électrique entre les faces interne 331 et externe 332 de la gaine 33 qui permet de modifier sa flexibilité et donc la flexibilité du fil de guidage.

Pour l'application d'une tension entre les faces interne 331 et externe 332 de la gaine 33, l'élément raidisseur 3 comprend un premier ensemble formant électrode et un deuxième ensemble formant électrode s'étendant respectivement sur les faces interne 331 et externe 332 de la gaine 33.

Le premier ensemble peut comprendre une première électrode unique 31 constituée d'une couche électriquement conductrice s'étendant sur toute la face interne 331 de la gaine 33 entre les extrémités proximale 11 et distale 12 du fil de guidage (cf. figure 1). De même, le deuxième ensemble peut comprendre une deuxième électrode unique 32 constituée d'une couche électriquement conductrice s'étendant sur toute la face externe 332 de la gaine 33 entre les extrémités proximale 11 et distale 12 du fil de guidage (cf. figure 1).

En variante, le premier (respectivement deuxième) ensemble peut comprendre une pluralité de premières (respectivement deuxièmes) électrodes 31a-31d (respectivement 32a-32d), chaque première (respectivement deuxième) électrode 31a-31d (respectivement 32a-32d) étant composée d'une couche électriquement conductrice, les premières (respectivement deuxièmes) électrodes 31a-31d (respectivement 32a-32d) étant adjacentes deux à deux et espacées d'une distance  $d_1$  (respectivement  $d_2$ ) non nulle radialement et/ou longitudinalement.

Le fait que les premier et/ou deuxième ensembles comprennent une pluralité d'électrodes 31a-31d, 32a-32d distantes les unes des autres radialement et/ou

longitudinalement, permet de faire varier la flexibilité du fil de guidage sur une portion de sa circonférence et/ou sur une portion de sa longueur. Lorsque le premier (et/ou deuxième) ensemble comprend une pluralité d'électrodes 31a-31d (32a-32d), l'élément raidisseur 3 peut comprendre plus de deux bornes de connexion pour  
5 appliquer des tensions électriques différentes aux premières (et/ou deuxièmes) électrodes 31a-31d (32a-32d) de la pluralité de premières (et/ou deuxièmes) électrodes.

Par exemple, dans le mode de réalisation illustré à la figure 2, chaque première  
10 (respectivement deuxième) électrode 31a-31d (32a-32d) présente la forme d'une portion de cercle en section et s'étend sur toute la longueur de la face interne 331 (respectivement externe 332) de la gaine 33 entre les extrémités proximale 11 et distale 12 du fil de guidage. Dans ce mode de réalisation, deux premières (respectivement deuxièmes) électrodes adjacentes sont espacées radialement  
15 d'une distance d1 (respectivement d2) non nulle.

Ceci permet de faire varier la flexibilité du fil de guidage sur une portion de sa circonférence de sorte à modifier l'orientation du fil de guidage et ainsi faciliter son déplacement à l'intérieur du système vasculaire du patient.

20

Dans le mode de réalisation illustré à la figure 3, chaque première (respectivement deuxième) électrode 31a-31d (respectivement 32a-32d) est de forme annulaire et s'étend sur une partie de la longueur de la face interne (respectivement externe) de la gaine. Dans ce mode de réalisation, deux premières (respectivement deuxièmes)  
25 électrodes adjacentes sont espacées longitudinalement d'une distance d non nulle.

Ceci permet de faire varier la flexibilité du fil de guidage sur une portion de sa longueur et ainsi faciliter son déplacement à l'intérieur du système vasculaire du patient.

30

Bien entendu, le nombre et la forme des électrodes peuvent varier entre les premier et deuxième ensembles. Par exemple, dans le mode de réalisation illustré à la

figure 4, le premier ensemble comprend une électrode unique 31 et le deuxième ensemble comprend une pluralité de deuxièmes électrodes 32a-32d.

5 Pour éviter la transmission de l'excitation électrique au patient, le fil de guidage peut également comprendre une enveloppe 4 électriquement isolante autour de l'élément raidisseur 3. Cette enveloppe 4 permet d'isoler électriquement le fil de guidage du patient.

Le principe de fonctionnement du fil de guidage décrit ci-dessus est le suivant.

10

Le fil de guidage est introduit dans le système vasculaire du patient et aucune tension n'est appliquée à l'élément raidisseur 3. Ainsi, la flexibilité du fil de guidage est maximale, ce qui facilite son déplacement à l'intérieur du corps du patient.

15 Lorsqu'aucune tension n'est appliquée à l'élément raidisseur, celui-ci peut avoir une fonction de capteur. En effet, la déformation de la gaine 33 lors du déplacement du fil de guidage à l'intérieur du système vasculaire du patient induit la génération d'une tension électrique entre les premier et deuxième ensembles. Les premier et deuxième ensemble étant en contact électrique avec les bornes de connexion, le  
20 branchement sur les bornes de connexion d'un dispositif de conversion tension/force permet de fournir à l'utilisateur une information sur la force et/ou la déformation appliquée(s) au fil de guidage lors de son déplacement à l'intérieur du système vasculaire du patient.

25 Eventuellement, lorsque l'élément raidisseur 3 comprend un premier ensemble (et/ou un deuxième ensemble) composé d'une pluralité de premières électrodes 31a-31d (et/ou de deuxièmes électrodes 32a-32d), des tensions différentes peuvent être appliquées aux premières (et/ou deuxièmes) électrodes pour modifier l'orientation du fil de guidage sur une portion de celui-ci afin de faciliter son  
30 déplacement à l'intérieur du système vasculaire du patient.

Lorsque l'extrémité distale du fil de guidage est en position au niveau d'une zone à traiter, une tension d'excitation est appliquée à l'élément raidisseur 3. L'application

d'une tension d'excitation à la gaine 33 induit une variation de ses propriétés physiques, et en particulier de sa flexibilité. Plus précisément, l'application d'un champ électrique entre les premier et deuxième ensembles induit une variation de la flexibilité de la gaine 33. Ceci induit une variation de la flexibilité du fil de guidage  
5 entre une première valeur de rigidité à la flexion et une deuxième valeur de rigidité à la flexion supérieure à la première valeur.

Le fil de guidage devient ainsi plus rigide de sorte que des instruments nécessaires à l'intervention chirurgicale peuvent être déplacés le long de celui-ci jusqu'à la zone  
10 à traiter.

Ainsi, lorsque qu'aucune tension d'excitation n'est appliquée à l'élément raidisseur 3, le fil de guidage selon l'invention se comporte comme un guide-fil de navigation ; lorsqu'une tension d'excitation est appliquée à l'élément raidisseur 3, le fil de  
15 guidage se comporte comme un guide-fil de support.

Avec le fil de guidage selon l'invention, il n'est donc plus nécessaire d'introduire et de retirer plusieurs types de guide-fil dans le système vasculaire du patient, un seul et même fil de guidage jouant à la fois les rôles du guide-fil de navigation et du  
20 guide-fil de support.

Le lecteur aura compris que de nombreuses modifications peuvent être apportées à la présente invention sans sortir matériellement des nouveaux enseignements présentés ici.  
25

Par exemple, dans les modes de réalisation décrits ci-dessus, la flexibilité du fil de guidage diminuait lorsqu'une tension électrique était appliquée à l'élément raidisseur. En variante, la flexibilité du fil de guidage pourrait augmenter lorsqu'une tension électrique est appliquée à l'élément raidisseur, par exemple par  
30 échauffement de celui-ci.

De même, la flexibilité du fil de guidage était présentée comme pouvant passer d'une première valeur de rigidité à la flexion à une deuxième valeur de rigidité à la

flexion lors de l'application d'une tension électrique aux bornes de l'élément raidisseur. En variante, la flexibilité du fil de guidage pourrait varier linéairement en fonction de la tension électrique appliquée aux bornes de l'élément raidisseur.

- 5 En raison du caractère électro-actif des matériaux envisagés (piézoélectrique, électrostrictif), la fonction de capteur d'effort ou de déformation peut être implémentée dans la structure (Fil guide). Cela permettant à plus long terme de disposer d'un retour d'information pour des applications haptiques (retour d'effort).
- 10 Par conséquent, toutes les modifications de ce type sont destinées à être incorporées à l'intérieur de la portée des revendications jointes.

## REVENDEICATIONS

1. Fil de guidage d'un cathéter destiné à être introduit à l'intérieur du système vasculaire d'un patient durant une procédure interventionnelle, le fil de guidage comportant un cœur de fil (2) flexible s'étendant longitudinalement, et un élément raidisseur (3) activable incluant au moins des première et deuxième bornes électriquement conductrices, l'élément raidisseur s'étendant autour du cœur de fil flexible, l'application d'une tension électrique entre les première et deuxième bornes de l'élément raidisseur induisant une variation de la flexibilité du fil de guidage entre une première valeur de rigidité à la flexion et une deuxième valeur de rigidité à la flexion supérieure à la première valeur de rigidité à la flexion, caractérisé en ce que lorsqu'aucune tension n'est appliquée à l'élément raidisseur, l'élément raidisseur (3) a une fonction de capteur pour fournir à un utilisateur une information sur une force et/ou une déformation appliquée au fil de guidage lors de son déplacement.
2. Fil de guidage selon la revendication 1, dans lequel l'élément raidisseur comprend :
  - une gaine (33) tubulaire constituée dans un matériau électro-actif, ladite gaine s'étendant autour du cœur de fil flexible,
  - un premier ensemble formant électrode sur la face interne (331) de la gaine,
  - un deuxième ensemble formant électrode sur la face externe (332) de la gaine.
3. Fil de guidage selon la revendication 2, dans lequel l'élément raidisseur comprend en outre une enveloppe (4) électriquement isolante autour de la gaine.
4. Fil de guidage selon l'une quelconque des revendications 2 ou 3, dans lequel le matériau électro-actif est choisi parmi un polymère ferroélectrique, un composite ferroélectrique, ou un polymère électrostrictif.

5. Fil de guidage selon l'une quelconque des revendications 2 à 4, dans lequel l'épaisseur de la gaine est comprise entre 20  $\mu\text{m}$  et 500  $\mu\text{m}$ .
- 5 6. Fil de guidage selon l'une quelconque des revendications 2 à 5, dans lequel le premier ensemble est constitué d'une première électrode (31) unique tubulaire s'étendant sur toute la face interne de la gaine.
- 10 7. Fil de guidage selon l'une quelconque des revendications 2 à 6, dans lequel le deuxième ensemble est constitué d'une deuxième électrode unique (32) tubulaire s'étendant sur toute la face externe de la gaine.
- 15 8. Fil de guidage selon l'une quelconque des revendications 2 à 6, dans lequel le deuxième ensemble comprend une pluralité d'électrodes (32a-32d) indépendantes les unes des autres.
9. Fil de guidage selon la revendication 8, dans lequel les électrodes de la pluralité d'électrodes sont adjacentes radialement et s'étendent sur toute la longueur de la gaine.
- 20 10. Fil de guidage selon la revendication 8, dans lequel les électrodes de la pluralité d'électrodes sont adjacentes longitudinalement, chaque électrode de la pluralité d'électrodes s'étendant sur une portion de la longueur de la gaine.

1/2

FIG. 1

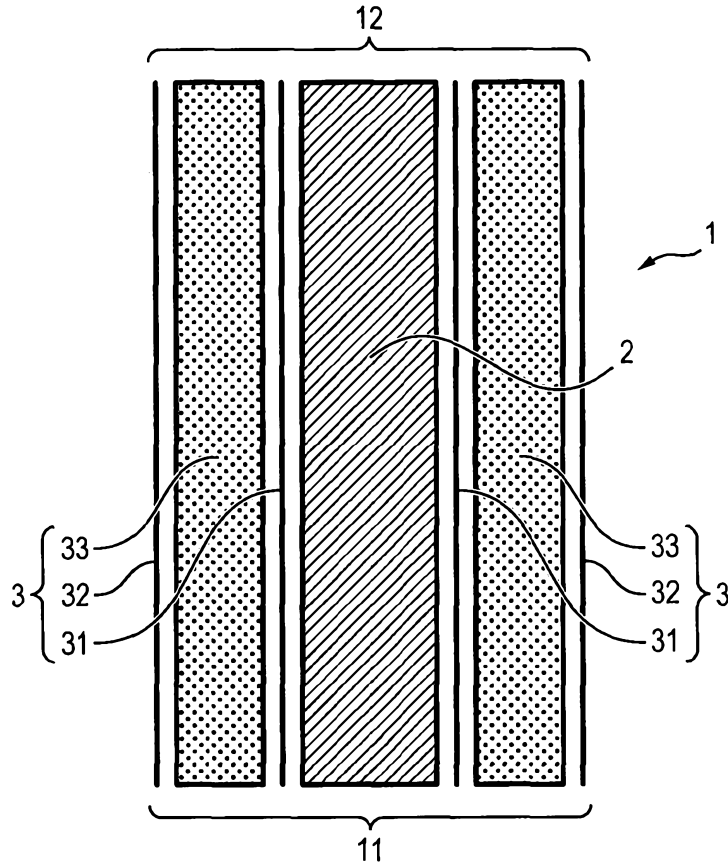


FIG. 2

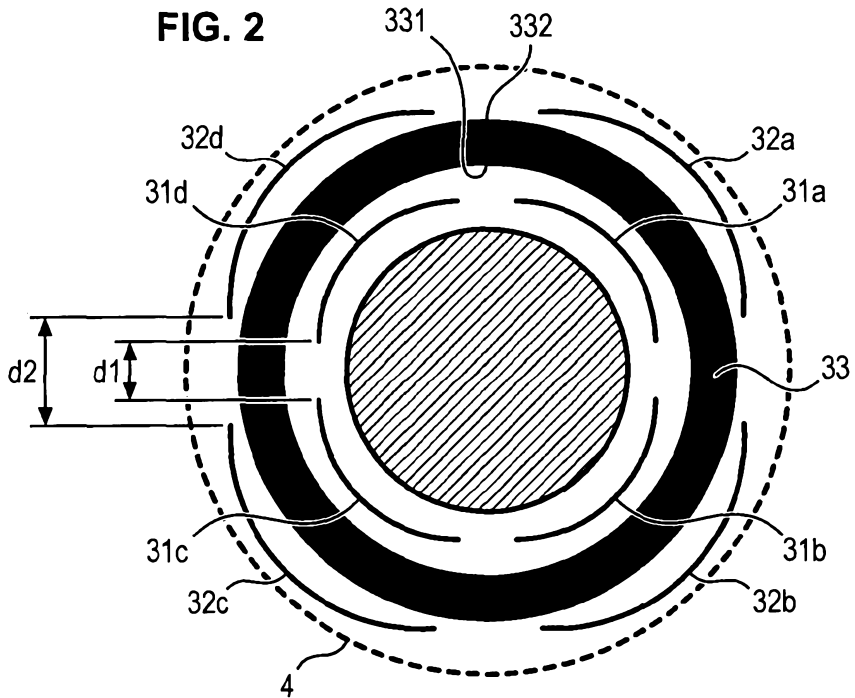


FIG. 3

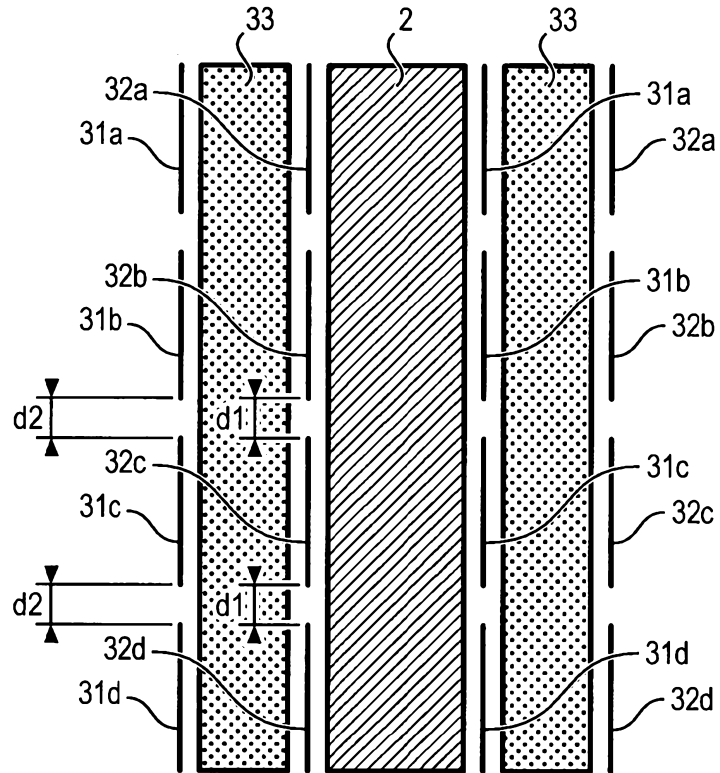
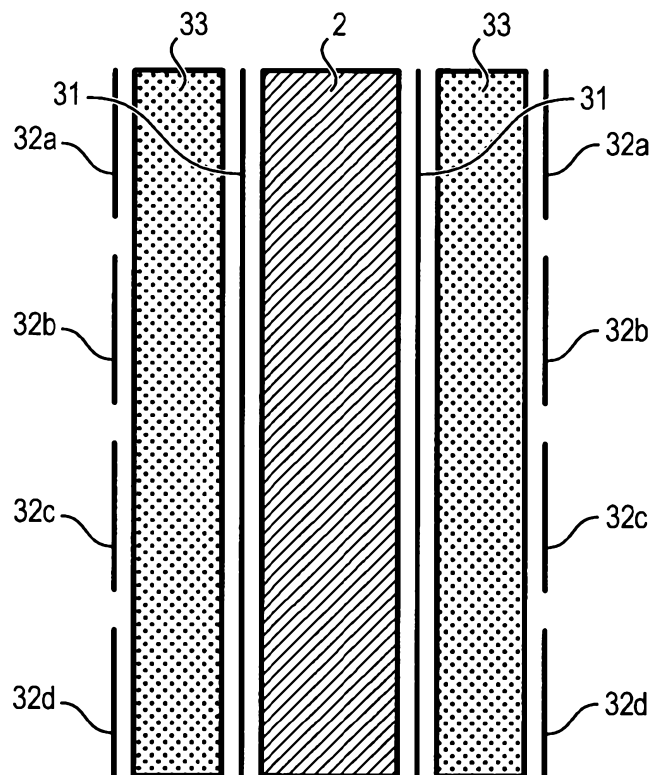


FIG. 4



# RAPPORT DE RECHERCHE

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

## OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

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

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

## CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

Le demandeur a maintenu les revendications.

Le demandeur a modifié les revendications.

Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

## DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

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

Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

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

US 2013/123692 A1 (ZHANG SHIHAI [US] ET AL) 16 mai 2013 (2013-05-16)

WO 97/38747 A1 (ADVANCED CARDIOVASCULAR SYSTEM [US]) 23 octobre 1997 (1997-10-23)

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

US 2007/250036 A1 (VOLK ANGELA K [US] ET AL KORNKVEN VOLK ANGELA [US] ET AL) 25 octobre 2007 (2007-10-25)

US 2007/247033 A1 (EIDENSCHINK TRACEE [US] ET AL) 25 octobre 2007 (2007-10-25)

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

NEANT