

CONFÉDÉRATION SUISSE
INSTITUT FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

(11) **CH** **715 656 B9**

(51) Int. Cl.: **G02B** 26/00 (2006.01)
G04C 17/00 (2006.01)
G04G 9/02 (2006.01)

Brevet d'invention délivré pour la Suisse et le Liechtenstein

Traité sur les brevets, du 22 décembre 1978, entre la Suisse et le Liechtenstein

(12) **FASCICULE DU BREVET**

(15) Information de correction:

Version corrigée no 1
Document entier

(21) Numéro de la demande: 000498/2020

(22) Date de dépôt: 31.10.2018

(43) Demande publiée: 09.05.2019

(30) Priorité: 31.10.2017 US 62/579,235

(24) Brevet délivré: 31.01.2023

(45) Fascicule du brevet publié: 31.01.2023

(48) Correction publiée: 28.04.2023

(73) Titulaire(s):

Preciflex SA, rue de Prébarreau 17
2000 Neuchâtel (CH)

(72) Inventeur(s):

Alain Jaccard, 1450 Ste-Croix (CH)
Jean Gubelmann, 2012 Auvernier (CH)
Lucien Vuillamoz, 8835 Feusiberg (CH)

(74) Mandataire:

Da Vinci Partners LLC, Rathausgasse 1
9320 Arbon (CH)

(86) Demande internationale:

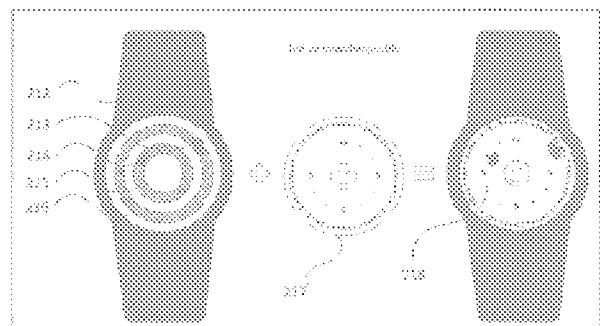
PCT/IB 2018/058549

(87) Publication internationale:

WO 2019/087104

(54) **Dispositif d'affichage fluide et pièce d'horlogerie.**

(57) Dispositif (212, 218) d'affichage fluidiques comprenant au moins deux fluides (213) non miscibles, dans lequel au moins un des fluides est déplacé par un L'au moins un des fluides d'électromouillage. situé dans le champ électrique genere par une électrode de référence et une électrode de commande et partiellement dans le champ électrique genere par la même électrode de référence et au moins une seconde électrode de commande de sorte que l'activation électrique de la seconde électrode de commande genere une déformation ou un mouvement du fluide en direction de la seconde électrode de commande. L'invention concerne également un procédé d'affichage par commutation des électrodes de commande du dispositif mentionné ci-dessus dans une sequence de sorte qu'une partie du fluide se déplace à l'intérieur du dispositif.



Description

Renvoi aux applications connexes

[0001] Le présent document est une demande PCT qui revendique le bénéfice de la demande provisoire américaine n° 62/579,235, déposée le 31 octobre 2017, dont le contenu est incorporé par renvoi aux présentes et utilisé pour définir les caractéristiques pour lesquelles une protection peut être demandée par les présentes car il semble que l'intégralité de celui-ci contribue à résoudre le problème technique sous-jacent à l'invention, certaines caractéristiques pouvant être mentionnées ci-dessous étant d'une importance particulière, Cette demande incorpore par renvoi le contenu de la demande PCT n° PCT/IB2010/002054 du même demandeur, intitulée INDICATEUR DE FLUIDE, déposée le 20 août 2010.

Droit d'auteur et mentions légales

[0002] Une partie de la divulgation de ce document de brevet contient des informations soumises à la protection du droit d'auteur. Le titulaire du droit d'auteur ne s'oppose pas à la reproduction par télécopie par quiconque du document de brevet ou de l'invention tel qu'il apparaît dans le dossier ou les registres de brevet du Bureau des brevets et des marques, mais se réserve par ailleurs tous les droits d'auteur. En outre, aucune référence à des brevets ou articles de tiers mentionnée ici ne doit être interprétée comme une admission du fait que la présente invention n'est pas en droit d'antidater un tel document en vertu d'une invention antérieure.

Contexte de l'invention

[0003] La présente invention concerne des indicateurs et en particulier des indicateurs visuels analogiques utilisés pour distribuer une quantité mesurée de fluide.

[0004] Les indicateurs analogiques existent depuis des temps immémoriaux. Le sablier, par exemple, utilise du sable ou un fluide qui, sous l'influence du poids de la gravité, se déplace d'un réservoir à l'autre en passant à travers une petite ouverture entre ceux-ci. Un autre exemple d'un indicateur analogique ancien est la « Clepsydre », telle qu'illustrée dans « Horloges Anciennes » de Richard Mühe et Horand M. Vogel, édition française, Office du Livre, Fribourg, 1978, page 9.

[0005] En référence à la **Figure 1**, le brevet américain n° 3,783,598 décrit un instrument 1 ayant un mouvement 2, un arbre d'entraînement 3, des cames 4, des pistons 5, des capillaires remplis de fluide 6 et une chambre de décharge 7 utilisée pour indiquer le temps. Il existe des dispositifs de dosage de fluide automatisés. Une pompe à insuline typique est un dispositif informatisé qui ressemble à un téléavertisseur et qui est généralement porté au niveau de la taille ou de la ceinture du patient. La pompe est programmée pour délivrer de petites doses d'insuline régulières tout au long de la journée. Des doses supplémentaires sont administrées pour couvrir les aliments ou les taux élevés de glucose dans le sang. La pompe contient un réservoir d'insuline qui est fixé à un système de tube appelé ensemble de perfusion. La plupart des ensembles de perfusion commencent avec une aiguille de guidage, puis la canule en plastique (un minuscule tube en plastique flexible) est laissée en place, fixée avec un pansement et l'aiguille est retirée. La canule est généralement changée tous les 2 ou 3 jours ou lorsque les taux de glucose dans le sang restent au-dessus de la plage cible. Cependant, ces dispositifs sont encombrants et ne sont pas toujours situés à un endroit du corps facile d'accès ou à lire.

[0006] En référence à la **Figure 2**, un dispositif porté au poignet, tel que la « GLUCOWATCH » est connu. Ce dispositif de l'état actuel de la technique, qui aurait été développé en 2001, présente un boîtier 8 supporté sur un bracelet 9. Un réservoir distribue de l'insuline sur un patch similaire à un patch médical transdermique utilisé pour le sevrage tabagique et l'hormonothérapie. Il fournit donc un procédé non invasif et sans aiguille pour améliorer et commander le transport de médicaments ioniques solubles dans l'eau hors de la peau et des tissus environnants en utilisant un faible niveau de courant électrique.

[0007] Le brevet français n° 1552838 enseigne la mise en place d'une goutte de mercure dans un champ électrique, c'est-à-dire son exposition à un différentiel de tension, qui peut déformer légèrement la goutte mais ne la déplacera pas d'un endroit à un autre, ce que le demandeur juge nécessaire pour effectuer un électromouillage. De plus, cela présente l'inconvénient de créer un courant traversant le mercure, qui affecte le mercure, par exemple, en le chauffant. De plus, le mercure est considéré comme un liquide dangereux.

[0008] Ces dispositifs antérieurs sont encombrants, nécessitent un espace important ou dédié pour indiquer la valeur, ils manquent de précision, ils ne fonctionnent pas comme prévu ou sont trop coûteux pour de nombreux utilisateurs.

[0009] Ce qui est nécessaire est un indicateur visuel fournissant une indication de lecture rapide d'une valeur de dosage mesurée et peu coûteux à fabriquer.

Résumé de l'invention

[0010] Un dispositif d'affichage d'indicateur visuel comporte un bracelet, une chambre capillaire transparente et un élément de déplacement. La chambre capillaire transparente est associée à un indice et comporte une longueur principale et une largeur inférieure à la longueur principale. L'élément de déplacement est disposé de façon fonctionnelle à une extrémité de la chambre capillaire et est sensible à une entrée mesurable pour déplacer un fluide contenu à l'intérieur de celle-ci selon une quantité définie.

[0011] Un objet de l'invention est de fournir un indicateur visuel qui occupe un minimum d'espace.

[0012] Un autre objet de l'invention est de fournir un indicateur visuel flexible qui s'adapte à des exigences qu'un indicateur droit et rigide n'est pas en mesure de remplir lorsqu'il est porté aux poignets, aux chevilles, à la tête ou autour ou le long d'une partie du corps humain, ou sur des objets tels que des vêtements et des articles de sport.

[0013] Un autre objet de l'invention est de fournir un indicateur visuel flexible qui s'adapte à des exigences qu'un indicateur droit et rigide n'est pas en mesure d'adapter lorsqu'il est porté aux poignets, aux chevilles, à la tête ou autour ou le long d'une partie du corps humain, ou sur des objets tels que des vêtements et des articles de sport.

[0014] Un autre objet de l'invention est de fournir un indicateur esthétique, confortable, fiable et intellectuellement attractif.

[0015] Un autre objet de l'invention est de fournir un distributeur de fluides tels que des médicaments, des remèdes, des pommades, des huiles ou des parfums.

Brève description des dessins

[0016]

La **Figure 1** est une vue en coupe transversale latérale d'un indicateur analogique de l'état actuel de la technique.

La **Figure 2** est une vue de dessus d'un second indicateur de l'état actuel de la technique.

La **Figure 3** est une vue en coupe transversale latérale d'un premier mode de réalisation de l'invention.

La **Figure 4A** est une vue en perspective d'un second mode de réalisation de l'invention.

La **Figure 4B** est une seconde vue en perspective du second mode de réalisation de l'invention.

La **Figure 5A** est un second mode de réalisation de l'invention, utilisé comme distributeur de médicament.

La **Figure 5B** est une vue latérale d'une cartouche à utiliser dans le mode de réalisation de la **Figure 5A**.

La **Figure 5C** est une vue en perspective d'une cartouche à utiliser dans le mode de réalisation de la **Figure 5A**, présentée dans un état fléchi.

La **Figure 6** est une vue partiellement démontée du dispositif de déplacement de fluide de l'invention, comportant un réservoir.

La **Figure 7** est une vue en coupe transversale d'un réservoir et d'un élément de déplacement de l'invention, présentant des caractéristiques qui aident à initialiser l'invention.

Les **Figures 8A-8E** sont des vues progressives de différentes étapes de fonctionnement du mode de réalisation mécanique de la **Figure 8F**.

La **Figure 8F** est une vue latérale en coupe transversale d'un mode de réalisation entièrement mécanique de l'invention.

Les **Figures 9A-9B** sont des photos côte à côte d'une gouttelette subissant l'effet d'électromouillage, dans lesquelles la **Figure 9A** présente la gouttelette avec une tension appliquée à une électrode et la **Figure 9B** présente la gouttelette sans tension appliquée à une électrode.

La **Figure 10** est une vue schématique en coupe transversale d'un afficheur à électromouillage.

Les **Figures 11A-11D** sont des photos de séquences temporelles présentant le déplacement d'une gouttelette d'eau dans de l'huile de silicone, avec un pas d'électrode de 1 mm et une hauteur de 400 µm.

La **Figure 12** est une vue schématique en coupe transversale d'un afficheur à électromouillage.

La **Figure 13** est une coupe transversale, dans laquelle une électrode adjacente est activée, y compris un changement de comportement de surface.

La **Figure 14** est une vue schématique en coupe transversale d'un afficheur à électromouillage avec la structure de la plaque inférieure sur laquelle toutes les électrodes sont formées.

La **Figure 15** est une vue de dessus de la **Figure 14**, présentant la forme de canal et la structure des électrodes de commande.

La **Figure 16** est une vue schématique en coupe transversale d'un afficheur à électromouillage avec toutes les électrodes structurées sur la plaque inférieure.

La **Figure 17** est une vue de dessus de la **Figure 16**, présentant la structure des électrodes.

Les **Figures 18A-18F** sont des schémas progressifs présentant le déplacement d'une gouttelette en fonction de l'activation des électrodes de commande.

Les **Figures 18G-18N** sont des schémas progressifs présentant le déplacement d'une gouttelette en fonction de l'activation des électrodes de commande.

La **Figures 19A-19B** sont des schémas progressifs présentant la déformation de gouttelette en fonction de l'activation des électrodes de commande.

Les **Figures 19C-19Q** sont des vues séquentielles de la déformation de gouttelette détaillée dans les **Figures 19A-19B**.

La **Figure 20** présente des vues progressives de l'assemblage d'un indice interchangeable sous un afficheur transparent.

La **Figure 21** est une vue en coupe transversale d'une variante de mode de réalisation du capteur analogique sur l'ensemble du tube.

La **Figure 22** est une vue en coupe transversale d'une variante de mode de réalisation d'un capteur numérique de l'invention, mise en oeuvre sur un afficheur à électromouillage.

Les **Figures 23A-23C** sont des schémas progressifs présentant l'animation d'une déformation de gouttelette sur un afficheur à électromouillage composé d'une électrode de commande.

Les **Figures 24A-24G** sont des schémas progressifs présentant le procédé de collecte de plusieurs gouttelettes sur un afficheur à électromouillage.

Les **Figures 25A-25F** sont des schémas progressifs présentant le procédé de mise en forme d'une gouttelette de fluide avec une section fermée de l'autre fluide.

Les **Figures 26A-26E** sont des schémas progressifs présentant le procédé de séparation d'une gouttelette de fluide en deux gouttelettes de fluide.

La **Figure 27A** est une vue en coupe transversale latérale d'un premier mode de réalisation de l'invention, tel que sur la **Figure 3**.

La **Figure 27B** est un schéma fonctionnel lié au mode de réalisation présenté sur la **Figure 27A**.

La **Figure 28** est un diagramme fonctionnel de la phase 1.

La **Figure 29A** représente des solutions optionnelles pour les interfaces de phase.

La **Figure 29B** est un diagramme présentant la pression de vapeur par rapport à la température pour différents liquides.

La **Figure 29C** est un schéma fonctionnel de moyens alternatifs pour le déplacement du liquide de l'invention.

La **Figure 30** est un cliquet en alliage à mémoire de forme (SMA) actionnant une roue en spirale de l'invention.

Les **Figures 31A à 31B** sont des schémas de fluide déplacé par électromouillage de l'invention.

La **Figure 32** est un schéma d'une pompe à membrane piézoélectrique de l'invention.

La **Figure 33** est une vue schématique d'une pompe péristaltique circulaire de l'invention.

Les **Figures 34A à 34B** sont des représentations schématiques de la conception de roue en spirale, avec une mise en oeuvre possible d'un embrayage pour permettre un réglage manuel de l'afficheur.

La **Figure 35** est une vue en perspective d'une Nanopump, un dispositif conçu par Debiotech, de l'invention.

La **Figure 36** est une vue schématique d'une pompe à membrane électromagnétique de l'invention.

Les **Figures 37A à 37B** sont des photos de l'effet d'électromouillage, où, sur la **Figure 37A**, aucune tension n'est appliquée, et sur la **Figure 37B**, une tension est appliquée.

La **Figure 38** est un schéma de la section transversale d'un afficheur à électromouillage.

La **Figure 39** est une séquence de déplacement d'une gouttelette d'eau dans de l'huile de silicone avec un pas d'électrode : de 1 [mm], une hauteur : de 400 [μ m].

La **Figure 40** est un mode de réalisation comportant un indicateur de l'invention avec une colonne de liquide, tout en induisant un déplacement sur une gouttelette uniquement.

La **Figure 41** est une vue en plan d'une commande Squiggle de l'invention.

La **Figure 42** représente des propositions de solutions pour la détection de la position de liquide d'indicateur.

Les **Figures 43A à 43B** ont deux mises en oeuvre différentes du capteur capacitif en tant que capteur analogique ou numérique sur un afficheur à électromouillage.

La **Figure 44** est une représentation schématique d'un capteur inductif de l'invention.

La **Figure 45A** est un schéma d'un système de codage de l'invention.

La **Figure 45B** est un autre schéma d'une roue de codage de l'invention pour un positionnement absolu.

La **Figure 46** est un graphique de l'effet de la température sur une longueur de liquide dans un tube.

La **Figure 47** est un autre graphique de l'effet de la température sur une longueur de liquide dans un tube.

La **Figure 48** est un graphique du calcul de rapport rayon de bulle/rayon de tube pour différents paramètres d'entrée, en tenant compte de l'hélium dissous dans l'eau.

La **Figure 49** est un graphique de la pression finale dans la chambre de décompression par rapport au diamètre de tube et au volume de chambre.

La **Figure 50** est un tracé de contour de la pression finale dans la chambre de décompression par rapport au volume de chambre et au diamètre de tube.

La **Figure 51** est un graphique 3D d'isosurfaces de force maximale sur le piston par rapport au diamètre de tube, au volume de chambre et au diamètre de piston.

La **Figure 52** est un tracé de la course de piston par rapport au diamètre de tube et au diamètre de piston.

La **Figure 53** est un graphique illustrant des configurations permettant un fonctionnement inférieur à 11 [mW] de consommation de puissance moyenne (puissance maximale admissible), et inférieur à 3 [mW] (en considérant une efficacité globale de 30 %).

La **Figure 54** est un schéma d'une interface liquide-vide,

La **Figures 55** est un graphique d'isosurfaces de temps de retour pour une interface siliconesilicone.

La **Figure 56** est un graphique d'isosurfaces de temps de retour pour une interface eau-eau.

La **Figure 57** est un schéma des forces agissant sur la rampe en spirale.

La **Figures 58** est un système en spirale généralisé avec une chambre de compression rigide.

La **Figure 59** est une spirale d'Archimède.

La **Figure 60** est une courbe présentant le couple requis par rapport à la position angulaire et au rapport de volume de chambre/tube pour un tube de 2 [mm].

La **Figure 61** est un graphique de différents rapports de couple par rapport à la position angulaire pour différents rapports de volume de chambre/tube, pour un diamètre de tube de 2 [mm].

La **Figure 62** est un graphique du couple requis sur la roue en spirale par rapport au temps de retour souhaité, pour l'eau et l'huile de silicone.

La **Figure 63** est un schéma en coupe transversale du principe d'électromouillage et un schéma électrique équivalent.

La **Figure 64** est un graphique de la fréquence de déplacement de l'eau dans différents milieux, en fonction de la tension.

La **Figure 65** représente des boîtes morphologiques présentant un résumé de solutions optionnelles, ainsi que des combinaisons globales.

La **Figure 66** est un tableau de cinq options différentes de dispositifs de déplacement du mode de réalisation de l'invention.

La **Figure 67** représente des photos d'un mouvement de montre de l'invention.

La **Figure 68** est un diagramme schématisé d'une commande à 3 bascules de l'invention.

La **Figure 69** est un diagramme schématisé de la connexion des électrodes de l'invention.

La **Figure 70** est un diagramme schématisé du circuit de détection simplifié de l'invention.

La **Figure 71** est un diagramme schématisé plus complet de l'électronique de commande de l'invention.

La **Figure 72** est une vue de dessus et latérale d'un mode de réalisation de la montre d'affichage à électromouillage de l'invention.

La **Figure 73** est une vue en perspective d'un PCB avec des électrodes ITO transparentes et des composants électroniques de l'invention.

La **Figure 74A** est une vue en perspective du détail A de la **Figure 73**, des électrodes de détection de l'invention.

La **Figure 74B** est la vue en perspective du détail A de la **Figure 73**, des électrodes de commande de l'invention.

La **Figure 75** est une vue schématisée de l'électromouillage.

La **Figure 76** est une vue en perspective de l'indication de l'heure sur un bracelet de l'invention sur la base de l'électromouillage.

La **Figure 77** est une vue en perspective de l'indication de l'heure de la **Figure 76** en détail.

La **Figure 78** est une vue en perspective des dispositifs de fermeture du bracelet de l'invention.

[0017] L'homme du métier appréciera que les éléments des figures sont illustrés par souci de simplicité et de clarté et n'ont pas nécessairement été dessinés à l'échelle. Par exemple, les dimensions peuvent être exagérées par rapport à d'autres éléments pour aider à améliorer la compréhension de l'invention et de ses modes de réalisation. En outre, lorsque les termes ζ premier ζ , ζ second ζ et similaires sont utilisés ici, leur utilisation est destinée à distinguer des éléments similaires et pas nécessairement à décrire un ordre séquentiel ou chronologique. De plus, des termes relatifs tels que ζ avant ζ , ζ arrière ζ , ζ haut ζ et ζ bas ζ et similaires dans la description et/ou dans les revendications ne sont pas nécessairement utilisés pour décrire une position relative exclusive. L'homme du métier comprendra donc que ces termes peuvent être interchangeables avec d'autres termes, et que les modes de réalisation décrits ici sont capables de fonctionner dans d'autres orientations que celles explicitement illustrées ou autrement décrites.

Description détaillée des modes de réalisation préférés

[0018] La description suivante n'est pas destinée à limiter la portée de l'invention d'une quelconque façon car ils sont de nature exemplaire et servent à décrire le meilleur mode de l'invention connu des inventeurs à la date de dépôt de celle-ci. Par conséquent, des modifications peuvent être apportées à l'agencement et/ou à la fonction de l'un quelconque des éléments décrits dans les exemples de modes de réalisation décrits sans s'écarter de l'esprit et de la portée de l'invention.

[0019] Un dispositif d'affichage d'indicateur visuel comporte un bracelet, une chambre capillaire transparente et un élément de déplacement. La chambre capillaire transparente est associée à un indice et comporte une longueur principale et une largeur inférieure à la longueur principale. L'élément de déplacement est disposé de façon fonctionnelle à une extrémité de la chambre capillaire et est sensible à une entrée mesurable pour déplacer un fluide contenu à l'intérieur de celle-ci selon une quantité définie.

[0020] Un fluide approprié peut être une huile, une lotion ou un liquide tel qu'un médicament ou un autre remède. L'élément de déplacement est fixé à une extrémité de la chambre capillaire qui est sensible à une entrée mesurable pour déplacer la surface de l'indicateur, permettant ainsi à l'utilisateur de lire une mesure à partir de l'indice.

[0021] En référence à la **Figure 3**, un indicateur analogique 10 de l'invention indique le dosage. L'indicateur 10 comporte un réservoir 12, une pompe 14, un dispositif de mesure 16, un circuit de rétroaction dans un dispositif de commande 20 et une alimentation 22'. Le réservoir 12 a un axe longitudinal 24 le long duquel un indice ou un dispositif de pesée 26 est disposé et est conçu pour contenir un fluide 28 délimité par au moins une surface indicatrice 30. Dans un mode de réalisation préféré, la pompe 14 est constituée du plongeur 32 monté sur une vis 33 commandée par un micromoteur 34. Le plongeur 32 utilise généralement un joint torique 29 disposé autour de sa circonférence, pour assurer une étanchéité contre le fluide 28 passant entre la surface supérieure et inférieure 31 et 35, respectivement, du plongeur. La pompe 14 pompe le fluide 28 hors du réservoir 12 et dans le cathéter 36. Dans un mode de réalisation préféré, le dispositif de

mesure 16 est une horloge électronique qui mesure le temps et communique une valeur de temps mesurée au circuit de rétroaction 20. Le circuit de rétroaction 20, alimenté par l'alimentation 22, reçoit une entrée de temps mesurée du dispositif de mesure 16 correspondant à une position sur le dispositif de pesée 26 et, en réponse à cela, active la pompe 14 pour pomper ou déplacer le fluide 28 hors du réservoir 12, jusqu'à ce que la surface 30 atteigne une position souhaitée par rapport à la position correspondante sur l'indice 26 (généralement calibrée pour égaler un débit souhaité de distribution du fluide). L'alimentation 22 alimente la pompe 14 et le circuit de rétroaction 20. Comme illustré, le réservoir 12 communique le fluide 28 dans le cathéter 36. Un fermoir 52 relie les extrémités du dispositif 10 pour créer un bracelet flexible 21.

[0022] En outre, éventuellement, une fibre optique et une source de lumière LED éclairent le fluide 28 dans le réservoir 12 d'une manière connue.

[0023] Un potentiomètre 56 régule le réglage de tension sur un système de commande de déplacement 60. Le système de commande de déplacement 60 comporte un capteur de position incrémentielle 62, par exemple le tracker NSE-5310 (dont la spécification est jointe en annexe A à la demande provisoire américaine n° 61/235,725, déposée le 21 août 2009, incorporée ici par renvoi aux présentes) situé à côté du plongeur 32. Ce système de commande 60 comporte un codage pour une sortie numérique directe, dans lequel un réseau d'éléments à effet Hall sur la puce 62 est utilisé pour dériver la position incrémentielle d'une bande magnétique externe 64 placée de manière adjacente à la puce à une distance d'environ 0,3 mm (typiquement), la bande magnétique 64 étant fixée au plongeur 32 pour se translater avec lui. Ce réseau de capteurs détecte les extrémités de la bande magnétique pour fournir un point de référence zéro.

[0024] Dans un autre mode de réalisation, l'alimentation 22 peut être des cellules solaires, un ressort de montre enroulé, un mouvement capturé par une masse oscillante (telle que celle utilisée dans les montres automatiques) ou un système pneumatique stockant de l'air comprimé.

[0025] Pour renvoyer le fluide 28 dans une position initiale, par exemple 06h00, le plongeur 32 peut être renvoyé par un ressort de rappel 40 ou un dispositif magnétique (non représenté). D'autres options sont bien entendu envisageables, dont la ligne de retour 42, permettant une simple inversion du moteur 34 pour réinitialiser l'indicateur 10.

[0026] Un moteur approprié 34 est désigné par sa marque déposée SQUIGGLE_z, disponible auprès de New Scale Technologies, Inc. of New York, États-Unis.

[0027] En référence maintenant aux **Figures 4A et 4B**, une application de l'indicateur analogique de l'invention est une montre-bracelet ou une chaîne 10 portée autour du poignet de l'utilisateur. Le réservoir 12' peut être réalisé en un matériau transparent ou translucide, ou un mélange de matériau transparent et translucide, formé dans toute forme souhaitée. Il peut être en plastique, en caoutchouc, en silicium ou en tout autre matériau approprié. Un matériau élastique a l'avantage que le bracelet 21' peut être tendu sur le poignet de l'utilisateur. De plus, l'affichage fluide 23 peut être complété par un cadran de montre standard 39 sur le boîtier 43.

[0028] En référence maintenant à la **Figure 5A**, l'invention peut être configurée en tant que dispositif 10'' utilisé pour administrer des doses de médicaments liquides 28 tels que l'insuline. Dans un tel mode de réalisation, le tube flexible est une cartouche de réservoir de médicament jetable 12' fixée au boîtier 13 contenant un dispositif de commande de dosage 18. Le dispositif 10'' est porté comme une montre-bracelet, la cartouche flexible 12' faisant partie de sa bande. L'indicateur 10'' comporte le réservoir 12', une commande linéaire 14', un circuit de rétroaction optionnel 16', un dispositif de commande 20' et une alimentation 22'. Le réservoir 12' a un axe longitudinal 24' le long duquel l'indice 26' est disposé et est adapté pour contenir le fluide 28 délimité par au moins une surface indicatrice 30'. Dans un mode de réalisation préféré, l'entraînement linéaire 14' entraîne un plongeur sphérique 32' monté sur un long arbre fileté flexible 33' qui est commandé par un micromoteur 34'. L'arbre 33' est de préférence réalisé en un matériau superélastique tel que le NITINOL. La commande linéaire 14' entraîne le plongeur 32' contre le piston 35 (de préférence réalisé en un matériau flexible tel que du caoutchouc) qui, à son tour, presse le fluide 28 le long du réservoir 12' et finalement à travers le tube de canule ou le cathéter 36', qui ensuite guide le fluide 28 dans le corps du patient. L'électronique du dispositif 10'' garantit qu'un dosage de fluide programmé est administré à intervalles réguliers ou en permanence selon les prescriptions d'un médecin. Il est à noter qu'éventuellement, le fluide 28, au lieu de passer dans le corps d'un porteur par l'intermédiaire d'une canule, charge un patch absorbant 25 porté par le patient, pour une diffusion lente du médicament dans le corps du patient à travers la peau. Lorsqu'un médicament est administré par l'intermédiaire d'un patch 25, le patch peut comporter une couche externe qui est semi-perméable, afin d'empêcher le médicament de s'évaporer avant d'avoir l'effet escompté (c'est-à-dire la diffusion dans la peau). En outre, un parfum peut être délivré d'une manière similaire. En particulier pour le mode de réalisation de distribution de parfum, le patch peut être situé partiellement ou entièrement sous le boîtier 13, ou sur le côté du boîtier et peut être fixé à celui-ci à l'aide d'un adhésif temporaire plutôt que directement sur l'organisme vivant, afin d'éviter la nécessité de le fixer à l'organisme vivant. Un tel patch peut être dimensionné pour être remplacé dans une zone définie (telle qu'une zone circulaire marquée 39) contre l'arrière ou n'importe quel côté du boîtier 13, adjacent à l'organisme vivant, un peu comme une note _zPOST-IT_z, de sorte que les patches de remplacement peuvent facilement remplacer les patches souillés.

[0029] Dans un mode de réalisation préféré, le nombre de tours de la commande linéaire 14' est enregistré et commandé de manière à assurer le bon dosage. L'électronique est alimentée par l'alimentation 22'. En variante, la position du piston 35 peut être commandée de la manière décrite dans le mode de réalisation ci-dessus présenté sur la **Figure 3**. La cartouche 12' s'installe sur un côté 13' du boîtier 13, avec son piston 35 adjacent au plongeur 32', et sur l'autre côté 13'',

adjacent à un mécanisme de perçage 50 qui comporte un tube de perçage 52 relié à une patte coulissante 54. L'utilisateur peut faire coulisser la languette 54 pour amener le tube de perçage 52 à percer la membrane supérieure 56 de la cartouche 12', afin de permettre la communication du fluide 28 à travers la canule 38 dans le corps du patient. Lorsque le parfum est distribué, ce perçage sert à ouvrir une extrémité de la cartouche 12' pour permettre la délivrance du parfum dans l'air, ou par l'intermédiaire d'un canal conducteur (non représenté), au niveau, près ou adjacent à la peau de l'utilisateur (pour exemple, directement vers et à travers le patch).

[0030] Dans le mode de réalisation utilisant une bande magnétique externe (ayant une caractéristique magnétique où le champ magnétique généré augmente ou diminue ainsi sur la longueur de la cartouche) fixée à ou intégrée sur la cartouche 12', le dispositif de commande informatique peut l'utiliser pour réguler le dosage administré au patient.

[0031] Comme avec le mode de réalisation précédent, l'alimentation 22' peut être une batterie, de l'énergie solaire, un ressort de montre enroulé, une masse oscillante (telle qu'utilisée dans les montres automatiques), ou un système pneumatique stockant de l'air comprimé.

[0032] Une fois qu'une cartouche 12' est entièrement distribuée, un bouton (non représenté) sur le boîtier 13 peut être activé pour rétracter le plongeur 32'. Le piston 35 reste immobile pour empêcher toute aspiration de fluide du patient, si la canule est toujours reliée au corps. Une fois rétracté, le dispositif 10" peut être rechargé avec une cartouche de remplacement 12'.

[0033] Comme avec le mode de réalisation précédent, un moteur approprié 34 est le moteur SQUIGGLE_ζ déjà décrit.

[0034] Il est à noter que le boîtier 13 peut être équipé d'un cadran de montre 39 et d'un mouvement correspondant (non représenté), afin que le dispositif d'administration de médicament puisse également servir de montre-bracelet.

[0035] Éventuellement, la tige filetée 33' du dispositif d'administration de médicament 10" est renfermée dans un tube 41 qui est relié sur le côté 13" du boîtier 13' et s'enroule autour du poignet du porteur pour être relié au côté 13' du boîtier, donnant l'effet visuel d'une montre-bracelet à deux bandes ou plus.

[0036] Il est prévu que la cartouche 12' utilisée dans un tel dispositif d'administration de médicament 10" comporte un indicateur de type tournesol chimique qui indiquerait si l'insuline ou un autre médicament est approprié pour une injection continue. Cette indication pourrait être exprimée par un élément de la cartouche 12' changeant de couleur, d'une couleur qui indique que le fluide est approprié pour une utilisation, à une autre couleur qui indique que le fluide n'est plus approprié pour une utilisation.

[0037] De plus, le dispositif 10" peut être utilisé comme distributeur de parfum par le remplacement de la canule par une tête d'aspiration qui peut être actionnée manuellement (par l'intermédiaire d'une tête ou d'un bouton de distributeur) ou automatiquement (par l'intermédiaire de la commande de dosage de l'invention).

[0038] En référence maintenant à la **Figure 6**, dans une variante de mode de réalisation, une came 152 fixée à la tige d'un mouvement de montre 132 est reliée à un dispositif de déplacement de fluide 90 par l'intermédiaire d'un arbre de piston 160, monté sur des roulements étanches 162 pour effectuer une translation axiale, qui est guidé dans sa translation axiale par une surface de came 164 de celui-ci. L'arbre de piston 160 est relié à une tête de piston 166 qui agit contre une membrane roulante flexible 170 d'un réservoir 36' (en variante, bien sûr, le piston peut avoir un joint torique monté sur sa périphérie ou être scellé d'une autre manière, comme illustré sur le mode de réalisation de la **Figure 3**). La membrane roulante 170 a une bride 172 qui est fixée de manière étanche à une extrémité de manière à séparer efficacement un fluide 28 du dessous de la tête de piston 166, d'un fluide 28' (qui peut comporter de l'air comme gaz fluide) au-dessus du piston. Le réservoir 36' est représenté dans une position extrême. Un passage 112' mène au canal capillaire 120 et un passage 110' fournit un passage de retour vers le côté opposé de la tête de piston 166.

[0039] La came 152 est formée de manière semblable à une spirale de nautilus de manière à déplacer progressivement l'arbre de piston 160 et donc la tête de piston 166 pour déplacer une quantité déterminée de fluide 28 dans le canal capillaire 120, à une vitesse qui indiquera le temps avec précision. Bien entendu, une quantité déterminée similaire de médicament ou de parfum peut également être administrée à un organisme vivant de cette manière.

[0040] En référence maintenant à la **Figure 7**, encore une fois, le dispositif de déplacement de fluide alternatif 90 est présenté, dans lequel le réservoir 36" se trouve dans une position essentiellement remplie. Une rainure de clavette 180 formée sur l'arbre de piston 160 s'accouple avec une vis de réglage 182 qui se visse dans la rainure de clavette par l'intermédiaire des filetages dans le sous-ensemble d'affichage de fluide 90', afin d'empêcher l'arbre de piston de tourner sur son axe, permettant ainsi de mieux maintenir la relation entre l'extrémité 184 de l'arbre de piston et la surface de came 164'. De plus, une vis de réglage 186 ayant un joint torique 190 monté dans un évidement à l'intérieur comporte une interface ζ ALLEN ζ ou ζ TORX ζ dans une extrémité extérieure 192 de celui-ci qui permet un réglage d'usine de la position du ménisque 30 à des fins de calibrage. Un septum ou orifice d'accès 194 (non représenté) ou une paire de ceux-ci, constitué d'un matériau élastique, peut également être utilisé pour permettre l'élimination et l'injection d'air et de fluide 28' et 29' dans et hors du canal capillaire 102 et/ou du réservoir 36".

[0041] Il convient de noter que l'invention 10, 10', 10" peut exclure toute électronique (comme ce serait généralement le cas lorsque l'invention est positionnée sur le marché des montres de luxe). Dans un tel mode de réalisation, la source d'alimentation 22" peut être le mouvement d'une masse oscillante, qui enroule un ressort de montre, qui alimente un train

d'engrenages, pour lequel la vitesse de rotation est commandée par un régulateur en forme de pendule ou un disque oscillant (par exemple, un balancier/tourbillon), qui a une période caractéristique, telle que connue dans la technique.

[0042] En référence maintenant à la **Figure 8F**, dans un autre mode de réalisation alternatif, le dispositif 10" peut exclure toute électronique, comme ce serait généralement le cas lorsque l'invention est positionnée sur le marché des montres de luxe. Dans un tel mode de réalisation, la source d'alimentation 22" peut être le mouvement d'une masse oscillante, qui enrôle un ressort de montre 70, qui alimente un train d'engrenages 72, pour lequel la vitesse de rotation est commandée par un régulateur en forme de pendule ou un disque oscillant 74 (par exemple, un balancier/tourbillon), qui a une période caractéristique. Le mouvement de rotation créé par le mécanisme 76 est transformé en mouvement linéaire par la vis 80. Cette vis 80 entraîne le plongeur 32" qui entraîne un fluide 28 comme illustré sur les **Figures 8A à 8E**, où les vannes 82 sont ouvertes ou fermées afin d'effectuer le mouvement de fluide souhaité dans le réservoir 12. Les flèches 84 indiquent le sens de déplacement du plongeur 32". Sur la **Figure 8A**, le réservoir indicateur 12 est vide. Lorsque le plongeur 32 avance vers la droite, dans le sens de la flèche, le fluide 28 dans l'indicateur avance vers la gauche. Il convient de noter les lignes et les positions des vannes 82 qui permettent cet écoulement de fluide souhaité. Les **Figures 8B et 8C** présentent l'avancement continu du fluide dans l'indicateur vers la gauche. Les **Figures 8D et 8E** présentent l'avancement de l'air vers la gauche, pour indiquer le jour.

[0043] Le réservoir 12' peut être constitué d'un matériau transparent ou translucide, ou d'un mélange de matériau transparent et translucide, formé dans n'importe quelle forme souhaitée. Il peut être en plastique, en caoutchouc, en silicone.

[0044] Dans un autre mode de réalisation, au lieu du capteur de position 60, un fil conducteur (non représenté), constitué d'un matériau conducteur tel que du métal, est exposé sur au moins une partie de sa longueur au fluide dans le réservoir 12', comme décrit ci-dessus.

[0045] Le fil conducteur est donc en contact avec tout fluide contenu dans le réservoir. Le fil peut être calibré à l'aide d'une résistance électrique variable sur toute sa longueur lorsque le fluide en contact avec le fil est pompé dans le réservoir, et le fluide étant pompé jusqu'à ce que la résistance électrique mesurée dans le fil corresponde à celle qui correspond à la valeur mesurée, telle que calibrée. Le calibrage de l'indicateur 10 est effectué par la comparaison de mesures de résistance variables avec des emplacements sur la longueur du réservoir, les emplacements étant marqués avec une échelle pour indiquer la valeur mesurée correspondante.

[0046] Dans un autre mode de réalisation, le fluide peut être déplacé à l'intérieur d'un affichage par un processus appelé électromouillage. L'électromouillage est un phénomène où une surface normalement hydrophobe perd ses propriétés et devient hydrophile comme représenté sur la **Figure 9A** et la **Figure 9B**. La **Figure 9A** présente la gouttelette avec une tension appliquée à une électrode. La **Figure 9B** présente la gouttelette sans tension appliquée à une électrode.

[0047] Une représentation schématique d'un afficheur à électromouillage est représentée sur la **Figure 10** ainsi qu'un schéma détaillé des différentes couches utilisées pour réaliser l'actionneur. Les **Figures 11A** à la **11D** présentent des images d'un test impliquant le déplacement d'une gouttelette d'eau dans de l'huile de silicone avec un pas d'électrode : de 1 [mm], une hauteur : de 400 [µm].

[0048] Les gouttelettes de fluide 205 sont déplacées afin d'obtenir une translation vers une nouvelle position, animant l'affichage. La fonctionnalité peut avoir pour objectif ultime d'indiquer une valeur mesurée telle que le temps. Elle peut être référencée par un indice. La **Figure 12** est un schéma détaillé d'un afficheur à électromouillage avec différentes couches. Il est composé d'une plaque supérieure 201 qui peut être rigide ou flexible, sur laquelle est déposée une électrode commune 202, une fine couche conductrice qui peut être structurée en différentes sections. La surface est traitée par un revêtement 203 qui suppose un comportement de surface phobique. Tous ces éléments pourraient être transparents, translucides ou même colorés afin de garder visible ce qui se trouve en dessous. Ils peuvent avoir une épaisseur ou une structure variable.

[0049] La plaque inférieure 207 est le substrat rigide ou flexible sur lequel sont déposées et structurées les électrodes de commande 208 qui sont électriquement conductrices. Ces électrodes de commande sont électriquement isolées par la couche diélectrique 206 sur laquelle le revêtement phobique 203 est déposé. La plaque inférieure 207 et ses couches inhérentes peuvent avoir n'importe quel aspect visuel, y compris transparent, translucide, coloré, partiellement opaque et opaque. Elles peuvent avoir une épaisseur ou une structure variable.

[0050] Le revêtement 203 est optionnel dans l'affichage représenté sur la **Figure 12**, car des additifs dans les fluides 204 et 205 pourraient supposer la fonction phobique avec les surfaces du réservoir contenant les fluides 204 et 205. Dans certains cas, le contact électrique est garanti entre le fluide 205 et l'électrode commune 202, sinon il est électriquement isolé.

[0051] Le fluide 205 est le liquide actif dans le processus d'électromouillage. Ce fluide 205 constitue une phase distincte visible à l'intérieur du fluide passif 204 censé remplir l'espace laissé par le premier fluide 205 dans le réservoir. Le fluide 204 peut être liquide ou gazeux. Les deux fluides 204 et 205 peuvent avoir n'importe quel aspect visuel, notamment transparent, translucide, coloré, partiellement opaque et opaque tant qu'un fort contraste permet de les distinguer l'un de l'autre. Une ou plusieurs gouttelettes de fluide 205 peuvent être comprises dans le système. Les deux fluides sont contenus dans un réservoir, un canal ou un tube par exemple.

[0052] La **Figure 13** montre comment le fluide 205 réagit efficacement sous un champ électrique représenté par le symbole de l'éclair 225 et appliqué par l'activation électrique de l'électrode de commande 209 qui est similaire aux autres électrodes de commande 208. En effet, l'angle de contact du fluide 205 sur la surface de la plaque inférieure 207 et ses

couches inhérentes change, induisant une force d'attraction par effet de capillarité. Cette force d'attraction provoque le mouvement de la gouttelette de fluide 205.

[0053] La **Figure 14** décrit une autre manière de mettre en œuvre les différents composants d'un afficheur où les fluides sont déplacés par effet d'électromouillage. La plaque inférieure 211 est structurée pour former un canal où l'électrode commune 210 est divisée en 2 sections placées sur les parois du canal. La surface de la plaque supérieure 201 ne ferme pas le canal. Le revêtement 203 est placé partout afin de supposer que la gouttelette reste dans le canal et donc d'éviter un effet de capillarité qui entraînerait la gouttelette dans l'espace mince formé par la plaque inférieure 210 et la plaque supérieure 201. La **Figure 15** est une coupe transversale verticale de l'exemple de mise en œuvre de la **Figure 14** où l'emplacement de la section transversale est indiqué. Les électrodes de commande 208 sont placées le long du canal et les électrodes communes 210 sont placées le long du canal des deux côtés.

[0054] La **Figure 16** présente une autre manière de mettre en œuvre les différents composants d'un afficheur où les fluides sont déplacés par effet d'électromouillage. L'électrode commune 202 est placée le long des électrodes de commande 208 sur la plaque inférieure 207. Toutes les couches numérotées et décrites comme dans la **Figure 12** ont la même fonction ici dans cette mise en œuvre. Dans ce cas, la gouttelette de fluide actif 205 est isolée de l'électrode commune 202 par la couche diélectrique 206 (voir la **Figure 16**).

[0055] La **Figure 17** met en évidence les détails de la structure de l'électrode commune 202 qui peut être divisée en plusieurs sections. Dans ce cas, l'électrode commune 202 est une électrode allongée placée le long des électrodes de commande 208. La gouttelette de fluide 205 est répartie sur les deux types d'électrodes.

[0056] La **Figure 18** présente la séquence avec les étapes de A à F expliquant comment commander le déplacement du fluide qui a la forme d'une gouttelette 224. Le fluide est similaire au fluide 205 décrit ci-dessus. La gouttelette de fluide 224 est légèrement plus grande que les électrodes de commande 223, afin de supposer qu'elle peut se déplacer vers les électrodes de commande adjacentes 223 lorsqu'elle est alimentée en tension. Cette tension peut être de type CC ou CA. À l'étape A, la gouttelette est statique car aucune électrode de commande 223 n'a été activée. Le fluide se déplace à l'étape B car l'électrode de commande adjacente est activée comme indiqué par le symbole de l'éclair 225. Le déplacement se produit jusqu'à ce que la gouttelette atteigne un équilibre énergétique (cela ne signifie pas nécessairement qu'elle doit couvrir complètement l'électrode de commande activée 223). Comme le montre la **Figure 18**, elle couvre l'électrode de commande activée 223 à l'étape C. À l'étape D, le processus recommence dans la nouvelle position pour se déplacer sur l'électrode de commande adjacente suivante 223 décrite aux étapes E et F. La commande peut déplacer la gouttelette dans n'importe quelle direction. En cas de plusieurs gouttelettes de fluide, elles peuvent être commandées indépendamment. De plus, la **Figure 18** présente les séquences avec les étapes G à N.

[0057] Les **Figures 19A-B** présentent une autre façon de mettre en œuvre un affichage qui tire profit de l'effet d'électromouillage. La gouttelette, qui présente les mêmes propriétés que le fluide 205 représenté sur la **Figure 12**, n'est pas translucide mais le mouvement de fluide induit une déformation de la gouttelette. Les électrodes de commande 220 forment les 12 branches d'une étoile dans ce mode de réalisation particulier, chacune d'entre elles pouvant être activée. Le centre de gouttelette 219 peut être activement maintenu par une électrode de commande placée en dessous, ou passivement avec un traitement de surface approprié pour faire coller la gouttelette sur cette zone. À l'étape A, la branche d'étoile 221 contient la déformation de la gouttelette car son électrode de commande 220 en dessous a été activée comme le montre l'éclair 225. À l'étape B, une autre branche d'étoile 222 est activée pour attirer la partie de la gouttelette et donc modifier la déformation. Ici, il n'est pas nécessaire d'activer l'électrode de commande adjacente 220 avec laquelle la déformation de gouttelette serait en contact. C'est le centre de gouttelette 219 qui doit être en contact avec la nouvelle électrode de commande activée 220. Ce principe de déformation de gouttelette est censé animer la gouttelette et le cas échéant, indiquer une valeur mesurée pouvant être référencée par un indice. De plus, les **Figures 19C-Q** présentent une séquence avec les étapes C à Q.

[0058] Une mise en œuvre particulière de l'affichage a lieu lorsque toutes les couches et tous les fluides représentés sur la **Figure 12** sont transparents à l'exception du fluide 205 qui est coloré afin d'avoir un bon contraste, rendant la gouttelette de fluide visible pour l'utilisateur. La **Figure 20** décrit ce mode de réalisation pour une montre-bracelet 212. Dans cette mise en œuvre particulière, il y a deux gouttelettes indiquant les heures pour la gouttelette 214 et les minutes pour la gouttelette 213. Les cercles 215 et 216 ne sont pas visibles pour l'utilisateur, ils présentent simplement le chemin que suivent les gouttelettes. Grâce à la transparence de l'affichage, il est possible d'avoir un indice interchangeable 217 permettant à l'utilisateur de personnaliser son dispositif 218 comme illustré sur la **Figure 20**.

[0059] En outre, deux modes de réalisation appliquent le phénomène d'électromouillage à l'aide d'un capteur capacitif.

[0060] En référence à la **Figure 21**, dans un premier mode de réalisation de capteur capacitif, une seule électrode est utilisée, où le niveau de liquide est déduit de la valeur analogique de la capacité mesurée à travers le tube entier. Ce mode de réalisation permet l'utilisation d'un circuit électronique plus simple. Cependant, il est plus difficile à calibrer étant donné l'influence des paramètres environnementaux.

[0061] En référence à la **Figure 22**, dans un second mode de réalisation de capteur capacitif, le niveau de liquide est déterminé comme une valeur numérique, à l'aide par exemple de cent quarante-quatre électrodes, une pour chaque pas de temps.

[0062] La solution ci-dessus est extrêmement robuste, n'étant pas influencée par les paramètres environnementaux comme dans le premier mode de réalisation de capteur capacitif. Une raison à cela réside dans le fait que la zone 226 de la couche diélectrique 206 en dessous de la gouttelette de fluide 205 est hautement capacitive.

[0063] Dans les quatre modes de réalisation suivants, l'actionnement de fluide d'électromouillage à des fins d'animation est appliqué. Leur construction suit le même schéma que celui décrit sur la **Figure 12** ainsi que l'activation électrique de la **Figure 13**. En particulier, ils contiennent 2 fluides non miscibles, l'un d'eux étant indiqué sous le numéro de référence 228.

[0064] En référence aux **Figures 23A-C**, dans un premier principe d'animation de base, l'afficheur à électromouillage est composé d'une électrode de commande 229 conçue pour représenter n'importe quelle forme esthétique, un cœur dans ce cas. Elle peut être translucide ou opaque, mais préférentiellement transparente pour fournir un effet de surprise dans l'animation. À l'étape A (représentée sur la **Figure 23A**), la gouttelette de fluide 228 flotte librement dans le réservoir 226. La zone 227 est revêtue de la même manière qu'au-dessus de l'électrode de commande 229 de sorte que la gouttelette de fluide 228 se déplace sans contrainte. Si l'électrode de commande 229 est transparente, son activation électrique à l'étape B (représentée sur la **Figure 23B**) induit un effet de surprise car la déformation de gouttelette est inattendue. La déformation se termine sur un nouvel état stable selon la forme de l'électrode de commande 229, comme illustré à l'étape C (représentée sur la **Figure 23C**).

[0065] Pour travailler plus efficacement, la gouttelette de fluide 228 ou toute gouttelette de fluide séparée doit chevaucher l'électrode de commande afin de se déplacer correctement sur l'électrode de commande 229. Avoir une seule électrode de commande est la mise en œuvre la plus simple où le système de commande peut être réduit à une alimentation électrique activée. Cependant, une construction plus complexe peut être réalisée pour améliorer l'animation fluide.

[0066] En référence à la **Figure 24**, l'afficheur à électromouillage met en œuvre un système capable de recueillir toutes les gouttelettes séparées. À l'étape A (représentée sur la **Figure 24A**), toutes les parties de fluide 228 flottent librement dans le réservoir 226. La quasi-totalité de la surface du réservoir 226 est traitée afin de n'imposer aucune contrainte sur le mouvement du fluide. Dans cette mise en œuvre particulière, 4 électrodes de commande concentriques 229 à 232 sont prévues. Une nouvelle fois, elles peuvent être opaques ou translucides mais de préférence transparentes pour fournir l'effet surprise. Il n'est pas nécessaire d'avoir une structure concentrique tant que les électrodes de commande couvrent une partie de la surface telle que n'importe quelle gouttelette de fluide 228 chevauchera au moins une partie des électrodes de commande.

[0067] La séquence dans cette mise en œuvre commence par l'activation des électrodes de commande 229 à 232 décrites à l'étape B (représentée sur la **Figure 24B**). Elle génère un effet surprenant car la gouttelette de fluide 228 se déplace de façon inattendue. À l'étape C (représentée sur la **Figure 24C**), la gouttelette de fluide 228 se déplace afin de quitter la zone inactivée 227 par effet de capillarité grâce à la différence d'angle de contact entre les bords de gouttelette qui se trouvent sur les électrodes de commande activées 229 à 232 et la zone inactivée 227. À partir de cet état, la séquence commence à désactiver, étape par étape, toutes les électrodes de commande depuis l'électrode de commande extérieure 232 à l'étape D (représentée sur la **Figure 24D**), l'électrode de commande 231 à l'étape E (représentée sur la **Figure 24E**), et l'électrode de commande 230 à l'étape F (représentée sur la **Figure 24F**). À chaque étape, les gouttelettes de fluide 228 se déplacent vers le centre pour les mêmes raisons que celles expliquées à l'étape C. À l'étape F, les gouttelettes se touchent et fusionnent pour former la forme définie par l'électrode de commande finale 229 à la fin de l'étape G (représentée sur la **Figure 24G**). La fusion des gouttelettes peut se produire à n'importe quelle étape car elle dépend de la position initiale et de la déformation de chaque gouttelette 228. Le principe concentrique n'est pas le seul moyen possible de recueillir des gouttelettes car la séquence peut être définie en relation avec la structure des électrodes de commande.

[0068] En référence à la **Figure 25**, l'afficheur à électromouillage met en œuvre un procédé d'obtention d'une partie renfermée commandée de fluide passif entouré de fluide actif. Ce procédé forme une gouttelette avec au moins une cavité renfermant un second fluide qui couvre essentiellement la surface totale du réservoir 226 à l'exception de la région occupée par la gouttelette de fluide 228. Comme l'autre mise en œuvre décrite à la **Figure 23**, la quasi-totalité de la surface du réservoir a été traitée uniformément et les électrodes de commande 230 à 235 peuvent être opaques ou translucides mais de préférence transparentes. À l'étape A (représentée sur la **Figure 25A**), la gouttelette flotte librement dans le réservoir 226. L'effet de surprise est déclenché à l'étape B (représentée sur la **Figure 25B**) où toutes les électrodes de commande 230 à 235 sont activées pour commencer à déplacer la gouttelette de fluide 228 au centre de l'affichage au-dessus des électrodes de commande 232 et 233 comme décrit à l'étape C (représentée sur la **Figure 25C**). Il y a des étapes intermédiaires qui ne sont pas représentées dans cette séquence car elles sont similaires à celle décrite sur la **Figure 24**. À l'étape D (représentée sur la **Figure 25D**), la gouttelette est déplacée sur un demi-cercle sur les électrodes de commande 231 et 232. Ce qui précède décrit la préparation initiale pour la formation de trou. En d'autres termes, la séquence précédente génère un anneau de fluide actif entouré de fluide passif (comme pour d'autres animations), l'intérieur du cercle étant également rempli de fluide passif.

[0069] À l'étape E (représentée sur la **Figure 25E**), les électrodes de commande 234 sont activées et l'électrode de commande centrale 232 désactivée pour laisser la gouttelette prendre la forme d'un fer à cheval. La gouttelette recouvre toujours une partie de l'électrode 232 malgré son inactivité. L'électrode de commande finale 235 est désactivée pour laisser une section être découverte par le fluide 228, permettant au second fluide de s'écouler à l'intérieur du futur trou. D'autre part, le fluide 228 se rétracte vers les électrodes activées pour permettre à l'autre fluide de recouvrir l'électrode de

commande 231. À l'étape F (représentée sur la **Figure 25F**), l'électrode de commande finale 235 est activée, entraînant la gouttelette de fluide 228 qui fusionne ses deux bras et prend sa forme finale avec un trou du second fluide à l'intérieur sur les électrodes de commande 232 et 233.

[0070] D'autres mises en oeuvre peuvent être envisagées qui forment des cavités de fluides passifs dans une gouttelette de fluide actif. Cela dépend de la structure des électrodes de commande et de la séquence de commande.

[0071] En référence à la **Figure 26**, l'afficheur à électromouillage met en oeuvre une animation où une gouttelette de fluide 228 est séparée en deux parties. À l'étape A (représentée sur la **Figure 26A**), la gouttelette de fluide 228 flotte et se déplace librement grâce à l'uniformité du traitement de surface sur tout le réservoir 226. Comme dans le mode de réalisation représenté par la **Figure 23**, l'électrode de commande peut être opaque, translucide mais de préférence transparente afin de fournir un effet de surprise lors de l'étape B (représentée sur la **Figure 26B**) où toutes les électrodes de commande 230 à 232 et 236 et 237 sont activées pour attirer la gouttelette au centre de l'affichage. Suivant une séquence similaire à celle représentée par la **Figure 24**, la gouttelette se termine sur l'électrode de commande au centre 232 à l'étape C (représentée sur la **Figure 26C**). Ensuite, la gouttelette est attirée dans deux directions opposées par l'activation des électrodes de commande 236 et 237 à l'étape D (représentée sur la **Figure 26D**). La gouttelette de fluide 228 se déforme en direction des deux électrodes et finit par se diviser en deux gouttelettes plus petites, distinctes, qui recouvriront les deux électrodes activées 236 et 237. Pour bien fonctionner, ce processus doit être affiné entre la conception des électrodes de commande, la séquence de commande et la taille de la gouttelette de fluide 228.

[0072] Le dispositif doit satisfaire aux exigences générales en matière de montre ISO 764, ISO 1413 et ISO 2281.

[0073] Les **Tableaux 1A à 1D** présentant des considérations d'exigences d'éléments de l'invention.

ID	Exigence	Type	quantité / qualité	Remarques / Réponse
1.	Exigences minimales			
1.1	Taille du dispositif			une montre-bracelet
1.2	Durée de vie du dispositif	W	4 ans MTBF	425 000 pas, pendant la durée de vie, y compris les réinitialisations et réglages
1.3	Résolution temporelle du dispositif	G	5 minutes	Soit 288 pas par jour,
1.4	Échelle temporelle du dispositif	G	12 heures	Début à 6 heures et fin à 17:55
1.5	Type d'affichage du dispositif	G	Analogique	
1.6	Support d'affichage du dispositif	G	Liquide	Liquide dans un tube tel que par exemple un thermomètre. Le dispositif pourrait également simuler un affichage numérique sur la base de l'actionnement du liquide.
1.7	Corrosion	G	Pas de corrosion	Les parties en contact avec le liquide ne doivent pas se corroder
1.8	Alimentation en énergie du dispositif	TBD, W		L'alimentation en énergie est ouverte. La conception pourrait être purement ou partiellement entraînée mécaniquement.
1.9	Consommation de puissance du dispositif	TBD, W		Sur la base du budget énergétique des piles bouton
1.10	Taille de l'ensemble pile bouton	TBD, W		Sur la base des calculs du budget énergétique
1.11	Résolution du capteur de détection de mouvement	G	5 minutes ou 1 pas	
1.12	Horloge numérique dans le dispositif	TBD, W		En fonction du mode de réalisation
1.13	Précision de l'horloge numérique	TBD		Similaire aux montres disponibles sur le marché

CH 715 656 B9

ID	Exigence	Type	quantité / qualité	Remarques / Réponse
1.14	Fréquence de signal temporel de l'horloge numérique pour le microcontrôleur	G	l/minute	

Tableau 1A

[0074]

ID	Exigence	Type	quantité / qualité	Remarques / Réponse
1.	Exigences minimales			
1.15	Temps de réaction du microcontrôleur	G	<1s <30s	Chaque pas de liquide est défini en 1 s sur l'affichage. Chaque réinitialisation (plage complète) est définie en 30 s sur l'affichage
1.16	Plage d'ajustement du potentiomètre	G	Plage complète	Elle peut être ajustée sur l'ensemble de l'affichage (12 heures)
1.17	Précision de réglage du potentiomètre	G	5 minutes ou 1 pas	
1.18	Linéarité du potentiomètre	W	linéaire	Le temps peut être ajusté linéairement sur l'ensemble de l'affichage
1.19	Taille de la chambre de décompression	TBD		En fonction du mode de réalisation couplé à la capacité de récipient de liquide
1.20	Matériau de la chambre de décompression	W		Conformément aux normes ISO. Le matériau doit résister aux cycles de pression
1.21	Taille d'affichage à tube	TBD	120 mm	Plage complète , 12 pas/10 mm 150 mm
1.22	Forme extérieure de l'affichage à tube	TBC, W	cylindrique	Souhait du prototype initial URS
1.23	Forme de canal creuse de l'affichage à tube	W	Le liquide se déplace linéairement sur la plage complète	
1.24	Matériau de l'affichage à tube	TBD	Transparent, Flexible	Rayon de courbure 7,5 mm Conformément aux normes ISO, le matériau doit résister aux cycles de pression.
1.25	Échelle du boîtier	TBD	Emplacement non défini	Ligne fine toutes les 5 minutes, ligne fine toutes les 15 min, ligne plus épaisse toutes les heures

Tableau 1B

[0075]

ID	Exigence	Type	quantité / qualité	Remarques / Réponse
1.	Exigences minimales			
1.26	Capacité de récipient de liquide	TBD	Min Max	Assez grand pour vider le volume total. Cela dépend de la conception du dispositif. Suffisamment de liquide en cas d'échangeabilité du boîtier du tube.

CH 715 656 B9

ID	Exigence	Type	quantité / qualité	Remarques / Réponse
1.27	Matériau liquide	TBD		Transparence/opacité ?
1.28	Matériau spécifique liquide	TBD, W	Fluorescent	En fonction du mode de réalisation
1.29	Couleur liquide	TBD		Couleurs ?
1.30	Diffusion de gaz dans le liquide	G	Minimale	Pas de création de bulles en raison des conditions environnementales (ISO). Pas de mélange avec le liquide de contre-support
1.31	Contre-support pour liquide d'affichage	TBD	Transparent Air ou liquide	Le contre-support encapsulé dans la chambre de décompression peut être soit de l'air soit du liquide
1.32	Limite	TBD, W	Liquide/Air ou Liquide/Liquide	¿Clair et pas trop concave ou convexe¿
1.33	Stabilité limite par rapport à la température	W	Insensibilité [°C] [-10; +40]	
1.34	Stabilité limite par rapport au champ gravitationnel	G	Insensibilité	Limite ne dépendant pas de la gravitation
1.35	Stabilité limite par rapport à l'altitude	TBD	Insensibilité [0 m - 3 000 m] Au-dessus du niveau de la mer	

Tableau 1C

[0076]

ID	Exigence	Type	quantité / qualité	Remarques / Réponse
1.	Exigences minimales			
1.36	Bouton lumière	W	Plage temporelle [18h00 - 05h59]	¿Il doit y avoir un bouton de lumière qui s'allume de 18h00 à 05h59. La lumière ne doit pas être très forte, l'objectif étant d'indiquer dans l'obscurité où le bouton de lumière se trouve. Comme une source de lumière, une LED basse puissance bleue peut être utilisée, laquelle est alimentée à partir des piles bouton (voir le chapitre 4.6). En appuyant sur le bouton de lumière la lumière dans le tube s'allumera.¿
1.37	Lumière de tube	W		¿La lumière du tube, lorsqu'elle est allumée, éclaire l'échelle d'indication de manière uniforme. Il doit y avoir suffisamment de lumière pour lire l'heure sans problème. Après avoir allumé la lumière, elle s'éteindra automatiquement au bout de 10 secondes. Comme une source de puissance, les piles bouton du boîtier (voir le chapitre 4.6) peuvent être utilisées.¿
1.38	Échangeabilité du boîtier du tube	W	Boîtier échangeable	Le boîtier du tube peut être facilement échangeable et traité avec des broches d'identification. Par conséquent, la longueur d'affichage liquide peut varier.

ID	Exigence	Type	quantité / qualité	Remarques / Réponse
1.39	Affichage lumineux du boîtier du tube	W	Source de lumière le long du boîtier	En fonction du mode de réalisation

Tableau 1D

[0077] La **Figure 27A** présente un prototype tel qu'après URS (en référence à la **Figure 3**) et la **Figure 27B** présente une boîte noire associée. La **Figure 27A** montre les éléments suivants :

01 Micromoteur; 02 Plongeur; 03 Vis; 04 Récipient de liquide avec un ressort de rappel à l'intérieur; 05 Aimant; 06 Circuit de détection de mouvement; 07 Boîtier; 08 Horloge; 09 Circuit de dispositif de commande; 10 Potentiomètre; 11 Batterie; 12 Tube; 13 Échelle; 14 Limite; 15 Chambre de décompression; 16 Mécanisme de verrouillage; 17 Commutateur de lumière; et 18 Bouchon à vis pour batteries.

[0078] Une analyse succincte des fonctions du dispositif est présentée sur la **Figure 28**. Sur cette figure, les fonctions encadrées en bleu seront traitées dans la première phase du projet.

[0079] Dans cette section, les solutions pour l'interface de phases, le déplacement du liquide et la détection des fonctions de position de liquide seront traitées :

L'interface de phases n'est pas une fonction à proprement parler. Néanmoins, cela a un impact majeur sur la conception de l'actionneur.

L'arbre des solutions pour l'interface de phases est présenté sur la **Figure 29A**.

[0080] Ces solutions sont décrites dans le **Tableau 2**.

ID	Interface de phases	Avantages	Inconvénients
1.1	Liquide-gaz avec chambre de compression rigide	∩ Volume inférieur à ce celui de l'interface liquide-liquide ∩ Assemblage plus simple	∩ Risques avec la dissolution de gaz dans le liquide ∩ Risque de formation de bulles au niveau de l'interface ∩ Pressions plus élevées ∩ Sensibilité aux variations de pression et de température
1.2	Liquide-gaz avec chambre de compression souple	∩ Pression constante inférieure ∩ Assemblage plus simple	∩ Nécessite deux ensembles soufflet ∩ Encombrement le plus élevé
2	Liquide-vide	∩ Volume minimal ∩ Pression constante	∩ Différence de pression élevée avec la température ambiante ∩ Assemblage plus complexe
3	Liquide -liquide	∩ Faible pression ∩ Miscibilité commandée quels que soient les paramètres environnementaux	∩ Volume plus élevé ∩ Nécessite deux soufflets ou un système en boucle fermée ∩ Éventuellement détection plus difficile de l'interface

Tableau 2

[0081] Nous décrivons ici les liquides pour l'interface de phase liquide-vide (liquide-vapeur).

[0082] Ladite interface de phases liquide-vide serait en fait une interface liquide-vapeur, l'espace ∩vide∩ étant au contraire rempli de liquide vaporisé, à sa pression de vapeur. La pression de vapeur en fonction de la température, pour différents liquides, est présentée sur la **Figure 29B**. Il est clair que cette valeur a une grande variation par rapport à la température. Par exemple :

- ∩ Afin d'avoir une pression positive à -10 [°C], avec du chlorure de méthyle, la pression atteindrait 8 [bar] à 40 [°C]
- ∩ La pression du propane atteindrait des niveaux encore plus élevés

[0083] Cela signifie que l'actionneur devrait être dimensionné pour la pression à laquelle il serait confronté de 40 [°C]. Il serait donc surdimensionné sur la majeure partie de sa plage de fonctionnement, et un risque de défaillance existerait si le dispositif était temporairement chauffé à des températures supérieures.

Nous en concluons que :

[0084] Pour ces raisons, la pression liquide-vapeur doit être évitée.

[0085] Sur les deux interfaces restantes, l'interface liquide-liquide est préférable, car :

Le liquide a une moindre sensibilité à la dilatation, le risque de faire des bulles en cas de choc est réduit, l'avancement du ménisque est plus régulier, et en cas de changements rapides de température et de pression, des bulles risquent de se former dans une interface liquide-gaz.

Nous décrivons ici les solutions pour le déplacement des liquides :

[0086] L'arbre des solutions pour le déplacement du liquide est présenté sur la **Figure 29C**. Les solutions sont regroupées en cinq catégories principales :

1. **Systèmes à piston** : où un piston comprime le liquide contenu dans un réservoir à soufflet
2. **Action électromagnétique directe sur le liquide** : une action électromagnétique sur le fluide lui-même le déplace, sans actionneur
3. **Systèmes de pompage** : le liquide d'un réservoir à soufflet est pompé dans le tube d'affichage
4. **Systèmes thermiques** : un effet thermique induit le déplacement du liquide
5. **Chimie** : le liquide est déplacé par une réaction chimique

[0087] Les catégories 1 à 4 sont décrites dans les **Tableaux 3A à 3D**.

ID	N	Description	Avantages / Inconvénients
1.1	Piston à commande Squiggle	Une commande Squiggle actionne un piston, lequel pousse le liquide dans la colonne indicatrice.	∩ Actionneur existant ∩ Taille compacte ∩ Densité de force élevée ∩ Éventuellement consommation d'énergie trop élevée ∩ Consommation d'énergie pour le retour également
1.2.1	Moteur pas à pas actionnant une roue en spirale	Un piston est actionné par une roue en spirale. La roue elle-même tourne à l'aide de l'une parmi de nombreuses solutions mécaniques possibles. Le principal avantage de cette classe de solutions repose sur le fait que le retour est presque instantané et nécessite la même énergie que pour une étape normale. De plus, cette classe, de même que la classe 1.3, sont les seules qui peuvent être entraînées par une montre mécanique, avec uniquement une légère modification.	∩ Des actionneurs simples et fiables existent ∩ Faible consommation d'énergie ∩ Faible coût
1.2.2	Cliquet SMA (en alliage à mémoire de forme) actionnant une roue en spirale, comme le montre la Figure 30.		∩ Actionneur solide ∩ Densité de force élevée ∩ Conception compacte possible, sans boîte de vitesses
1.2.3	Roue en spirale actionnée par le mécanisme de montre		∩ Mécanisme simple couplé au mécanisme de montre existant ∩ Peut nécessiter une certaine adaptation
1.2.4	Système bistable thermique actionnant une roue en spirale		∩ Actionneur solide ∩ Densité de force élevée ∩ Éventuellement une consommation d'énergie plus élevée que pour le SMA

Tableau 3A

[0088]

ID	N	Description	Avantages / Inconvénients
1.3.1	Moteur pas à pas actionnant un système à crémaillère	La classe de solutions 1.3 est similaire à la classe 1.2, sauf qu'une crémaillère est utilisée pour actionner le piston à la place d'une roue en spirale. Son inconvénient par rapport à la classe 1.2 est que le retour n'est pas instantané. De plus, pour effectuer le retour, un actionneur bidirectionnel ou un système de libération est nécessaire. Les avantages et inconvénients de chaque solution particulière sont similaires à ceux de la classe 1.2.	
1.3.2	Crémaillère actionnée par un cliquet SMA		
1.3.3	Crémaillère actionnée directement par le mécanisme de montre		
1.3.4	Système à crémaillère actionné par un système bistable thermique		
2.2	Fluide déplacé par électromouillage, comme le montre la Figure 31A et la Figure 31B.	L'électromouillage permet de modifier la tension de surface de certains matériaux en appliquant un potentiel électrique sur ceux-ci. En alignant les électrodes, cela permet de déplacer le liquide.	<ul style="list-style-type: none"> ∩ Aucun actionneur mécanique ∩ Actionnement distribué sur l'ensemble du tube d'affichage ∩ Possibles limitations dans les liquides utilisables

Tableau 3B

[0089]

ID	N	Description	Avantages / Inconvénients
3.1.1	Pompe à membrane/pompe électromagnétique	Chaque impulsion de la pompe déplace le liquide dans la colonne indicatrice. Le retour est effectué en ouvrant les vannes de la pompe.	<ul style="list-style-type: none"> ∩ Actionnement en boucle ouverte possible ∩ Éventuellement grand dispositif
3.1.2	Pompe à membrane piézoélectrique, comme le montre la Figure 32.	La membrane de la pompe est un actionneur piézoélectrique.	<ul style="list-style-type: none"> ∩ Conception très compacte ∩ Actionnement en boucle ouverte possible ∩ Des applications existent dans le domaine médical
3.2.1	Pompe péristaltique circulaire comme le montre la Figure 33.	Dans les deux solutions de la classe 3.2, le liquide est poussé à travers le tube avec un actionnement péristaltique. Le choix entre linéaire et circulaire dépendra de la géométrie du dispositif final.	<ul style="list-style-type: none"> ∩ Compatible avec une interface liquide-liquide en boucle fermée ∩ L'actionneur peut être placé n'importe où dans le dispositif, pas seulement au niveau de l'extrémité ∩ Des applications existent dans le domaine médical ∩ Le retour du liquide doit être actionné
3.2.2	Pompe péristaltique linéaire		

Tableau 3C

[0090]

ID	N	Description	Avantages/ Inconvénients
4.1	Actionnement thermocapillaire	Similaire à l'électromouillage : la tension de surface du matériau est modifiée en modifiant sa température.	<ul style="list-style-type: none"> ∩ Aucun actionneur mécanique ∩ Actionnement distribué sur l'ensemble du tube d'affichage

Tableau 3D

[0091] Les critères d'évaluation pour les systèmes de déplacement de liquide sont représentés dans le Tableau 3.

[0092] Les critères de classement sont présentés dans le **Tableau 4**. Le classement est effectué à l'aide de la méthode 1-3-9 dans laquelle chaque solution se voit attribuer une note de 1, 3 ou 9 pour chaque critère de classement considéré. Les critères de classement eux-mêmes ont un poids, également 1, 3 ou 9. De cette façon, toute contribution peut apporter une valeur comprise entre 1 et 81 à la note totale de la solution.

ID	Critères	Description	Poids	Classement		
				1	3	9
1	Consommation d'énergie	Consommation d'énergie globale moyenne pendant la durée de vie du dispositif	9	Consommation d'énergie élevée, nécessite des changements de batterie fréquents	Le dispositif présente le risque d'être à court de batterie avant 2 ans	Le dispositif peut fonctionner pendant deux ans avec une pile bouton
2	Résistance au vieillissement	MTBF	9	MTBF << 4 ans	MTBF ≈ 4 ans	MTBF >> 4 ans
3	Taille	Volume occupé par l'ensemble actionneur	9	Très grand actionneur, limite la forme du dispositif	Petit actionneur	Volume d'actionneur insignifiant par rapport au réservoir/tube
4	Risque technologique		9	La solution est une nouvelle application. Peu d'expérience disponible	La solution présente un certain défi	La solution est bien établie, avec des exemples connus.
5	Complexité	Complexité du dispositif final	3	Le dispositif est extrêmement complexe	Le dispositif présente une complexité modérée	Le dispositif ne présente aucune complexité particulière
6	Évolutivité	Possibilité de monter différents diamètres de tube	3	Le dispositif est limité à une plage de diamètres de tube réduits	Le dispositif peut être mis à l'échelle dans une plage plus large	Le dispositif peut être mis à l'échelle à volonté
7	Vitesse de réglage manuel	Vitesse de réaction du système dans le cas où l'utilisateur souhaite le régler manuellement	3	Réaction lente	Il est possible d'actionner le système plus rapidement qu'1 pas/seconde, mais toujours en retard par rapport au réglage manuel	Aucun retard par rapport au réglage manuel
8	Coût	Coût de production du dispositif	1		Le dispositif s'appuie sur des processus de fabrication connus, bien que relativement coûteux	Dispositif à faible coût qui peut être produit en masse

Tableau 4

[0093] La résistance aux paramètres environnementaux n'est pas affichée ici, car elle sera définie par une conjonction de l'actionnement, du type d'interface et de la détection.

[0094] Les critères suivants ont reçu a priori des pondérations inférieures au maximum de 9 :

La complexité : en raison du segment haut de gamme prévu pour lequel le produit est conçu, la complexité n'est pas considérée comme un critère de la plus haute importance.

L'évolutivité : le produit est pour le moment destiné aux présentoirs de montres. Bien que d'autres applications possibles puissent nécessiter une extension à d'autres dimensions, ce n'est pas pour le moment un critère-clé.

La vitesse de réglage manuel : Certaines solutions ne permettent pas de régler l'affichage manuellement à n'importe quelle vitesse. Cela pourrait s'avérer problématique car l'utilisateur n'aurait pas de rétroaction immédiate sur son action sur l'écran. Ce critère reçoit pour le moment une pondération de 3, mais il pourrait devoir être augmenté.

Le coût : encore une fois, en raison du segment haut de gamme pour lequel le produit est conçu, le coût ne semble pas être un critère de la plus haute importance. Un dispositif très coûteux et complexe peut même susciter l'intérêt des clients horlogers.

[0095] Le classement de toutes les solutions envisagées, avec les critères de classement susmentionnés, est présenté dans le **Tableau 5**.

Réf.	Nom	Consommation d'énergie	Résistance au vieillissement	Taille	Risque technologique	Complexité	Vitesse de réglage manuel	Évolutivité	Coût	TOTAL	CLASSEMENT
	Importance	9	9	9	9	3	3	3	1		
1.1	Piston à commande Saugille	Faible efficacité énergétique des actionneurs piézoélectriques dynamiques en raison des pertes d'hystérésis. Le retour doit être alimenté. 3	Aucun effet de vieillissement connu 9	Actionneur très petit possible 9	Technologie connue 9	Produit existant 9	Plus lent que l'actionnement 3	Inapproprié pour les affichages très grands 3	Actionneur relativement coûteux 3	318	5
1.2.1	Moteur pas à pas actionnant une roue en spirale	Faible consommation d'énergie 9	Des actionneurs très fiables existent 9	L'ensemble présente une taille non négligeable 3	Actionneurs existants 9	Actionneur existant, faible complexité mécanique 9	Plus rapide que l'actionnement 9	Évolutivité à volonté 9	Faible coût 9	360	1
1.2.3	Roue en spirale actionnée par le mécanisme de montre	Faible consommation d'énergie 9	MTBF égal à celui du mécanisme de montre 3	L'ensemble présente une taille non négligeable 3	Aucune technologie spécifique 9	Actionneur existant, faible complexité mécanique 9	Plus rapide que l'actionnement 9	Peut nécessiter plusieurs pas par incrément pour les grands tubes 3	Faible coût 9	342	3
2.2	Fluide déplacé par électromouillage	Faible consommation d'énergie 9	Aucun effet de vieillissement connu 9	Taille minimale 9	Peu d'applications existantes, inquiétudes concernant la manipulation d'une colonne de liquide. 1	Faible complexité 9	Réglage très rapide possible 9	Évolutivité moyenne 3	Techniques de micro-usinage nécessaires 3	318	5
3.1.1	Pompe à membrane/piston électromagnétique	Faible consommation d'énergie 9	Des actionneurs très fiables existent 9	Ensemble relativement grand 1	Aucun risque connu 9	Faible complexité 9	Plus lent que l'actionnement 3	Évolutivité à volonté 9	Faible coût 9	324	4
3.1.2	Pompe à membrane piézoélectrique	Faible consommation d'énergie 9	Aucun effet de vieillissement connu 9	Des pompes MEMS existent 9	Technologie connue 9	Les MEMS peuvent nécessiter un effort de développement 3	Plus lent que l'actionnement 3	Faible évolutivité 1	Les actionneurs piézoélectriques ont tendance à être coûteux 3	348	2

Tableau 5

[0096] Les cinq principales solutions sont :

1Le moteur pas à pas actionnant une roue en spirale arrive en tête de ce classement. Il s'agit d'une solution très simple, reposant sur un mécanisme relativement simple et des actionneurs connus. De plus, le réglage manuel de l'indicateur peut être effectué très rapidement, à l'aide d'un embrayage mécanique pour désengager la roue en spirale de son train d'engrenages. Son seul désavantage est sa taille relativement plus grande.

2La pompe à membrane piézoélectrique arrive en deuxième position. Elle est bien classée en raison de sa petite taille, de sa conception robuste et de sa technologie connue. Elle est désavantagée par une évolutivité relativement faible, peut-être un coût plus élevé que certaines autres solutions.

3L'électromouillage arrive en cinquième position.

Les principales solutions sont présentées en détail ci-dessous.

[0097] Nous décrivons ici le moteur pas à pas actionnant une roue en spirale. Une représentation schématique de cette solution est présentée sur la **Figure 34A** (une vue de dessus), ainsi que sur la **Figure 34B** (une vue latérale) présentant une solution pour effectuer le réglage rapidement. Pour effectuer le réglage, le bouton manipulé par l'utilisateur désengagerait la roue en spirale de son train d'engrenages et permettrait un réglage rapide et sans alimentation. Tous les composants sont simples et bien connus, y compris le moteur pas à pas.

[0098] Nous décrivons ici la pompe à membrane piézoélectrique. Sur la **Figure 35** est présentée la Nanopump/pompe à membrane piézoélectrique, un dispositif conçu par Debiotech à des fins de perfusion d'insuline. Ce dispositif particulier a une distribution de 200 [nl] par impulsion. Il est entièrement micro-usiné sur des tranches de silicium sur isolant (SOI), ce qui garantit une répétabilité élevée.

[0099] De plus, le dispositif étant à amorçage automatique, il permettrait une régulation en boucle ouverte : à la fin d'un cycle de 12 heures, le liquide peut être retiré dans le réservoir par l'ouverture des vannes de retour. Ensuite, la pompe peut être activée jusqu'à ce que le liquide soit détecté par un seul capteur capacitif placé sur sa sortie. Après ce point, la pompe peut être fiable pour fournir des étapes régulières au cours des 12 prochaines heures.

[0100] Il faut noter que le capteur capacitif pourrait théoriquement être intégré dans le dispositif.

[0101] Certains dispositifs comme la Nanopump existent sur le marché, ou sont en cours de développement.

[0102] Nous décrivons ici la pompe à membrane électromagnétique/piston. Un schéma d'un tel dispositif de pompe à membrane électromagnétique/piston est présenté sur la **Figure 36**, dans le cas d'une pompe à membrane. Il est à noter que la configuration de piston est également réalisable. Cependant, les deux solutions sont pour le moment considérées ensemble, car la fonction des deux dispositifs est extrêmement similaire.

[0103] Dans les deux cas, le volume d'une chambre de compression varie, et deux clapets antiretour assurent que le débit généré par cette variation va dans la direction souhaitée.

[0104] L'un des principaux avantages de ces pompes est qu'elles génèrent un débit volumétrique ; l'avancement du liquide dans l'indicateur pourrait donc être commandé par un système en boucle ouverte, à condition que le système soit recalibré après chaque cycle de 12 heures.

[0105] Nous décrivons ici l'électromouillage. L'électromouillage est un phénomène où une surface normalement hydrophobe perd ses propriétés et devient hydrophile. Ceci est présenté sur les **Figures 37A et 37B**. De cette façon, avec plusieurs électrodes alignées, il est possible de commander le déplacement d'une gouttelette d'eau dans un affichage.

[0106] Un schéma d'un tel affichage est présenté sur la **Figure 38**, ainsi qu'un schéma détaillé des différentes couches utilisées pour réaliser l'actionneur. À l'aide d'une gouttelette légèrement plus grande que l'électrode, la gouttelette se déplace vers l'électrode adjacente lorsqu'elle est alimentée en courant.

[0107] Des images d'un test impliquant le déplacement d'une gouttelette d'eau dans de l'huile de silicone sont présentées sur la **Figure 39**. On constate que le déplacement est extrêmement rapide. De plus, la puissance impliquée est relativement faible car les électrodes agissent comme des condensateurs : aucune conduction de courant n'a lieu dans le système.

[0108] La plupart des travaux publiés, jusqu'à présent, implique le déplacement de gouttelettes d'eau, et non d'une masse, comme cela serait nécessaire pour déplacer une colonne de liquide dans le cas de l'affichage liquide. Cependant, le comportement d'affichage peut également être obtenu par le déplacement d'une seule gouttelette, tel que présenté sur la **Figure 40**. La gouttelette est dans ce cas utilisée pour effectuer la séparation entre une huile colorée et une huile incolore, l'huile colorée étant le support d'indication.

[0109] Ces données visent à présenter certaines des capacités jusqu'ici démontrées de l'électromouillage.

[0110] Nous décrivons ici le piston à commande squiggle. La **Figure 41** présente la variante de piston à commande Squiggle. Cette solution repose sur un produit existant, un tel actionneur pourrait être adapté à un système de roue en spirale, par exemple.

[0111] Nous décrivons ici les solutions de détection de position de liquide. L'arbre des solutions pour la détection de la position de liquide est présenté sur la **Figure 42**. Les trois grands groupes sont d'abord - la **ζdéttection directeζ**, où le capteur est intégré sur le tube indicateur, et détecte directement la position du liquide ; deuxièmement - la **ζboucle ouverteζ**, où aucun capteur n'est utilisé et le système est réinitialisé toutes les douze heures afin d'éviter l'accumulation d'erreurs ; et troisièmement - la **ζdéttection indirecteζ**, où la position de l'actionneur est suivie, et la position de la colonne de liquide est déduite. De plus, il convient de noter qu'une compensation de la température peut être nécessaire si un capteur indirect est utilisé avec une interface liquide-gaz.

[0112] Des solutions pour la détection de la position de liquide sont décrites dans le **Tableau 6**.

ID	Nom	Description	Avantages / Inconvénients
1.1	Capteur capacitif	Une seule ou plusieurs électrodes sont placées dans le tube. La capacité indique la progression du liquide.	ζ Lecture simple et directe du niveau de liquide Variation linéaire de la valeur de capacité
1.4	Capteur résistif	Plusieurs électrodes sont placées dans le tube. Le liquide les relie ensemble.	ζ Lecture directe du niveau de liquide

ID	Nom	Description	Avantages / Inconvénients
2	Régulation en boucle ouverte	L'actionneur fournit une pression suffisante pour pouvoir éviter d'utiliser un capteur.	Solution la plus simple Nécessite une routine de calibrage pour éviter d'ajouter des erreurs
3.1	Capteur inductif sur l'actionneur	L'actionneur déplace une ferrite dans une bobine. L'inductance de la bobine est mesurée et indique la position de l'actionneur.	ζ Solution simple au niveau mécanique ζ Déjà utilisé dans de nombreux dispositifs de précision
3.2	Codeur sur l'actionneur	Un codeur absolu est placé sur l'actionneur.	ζ Lecture simple et exacte de la position ζ Nécessite un appareil plus complexe que le capteur inductif
3.3	Capteur de pression	La pression dans la chambre de compression est mesurée et indique la progression du liquide.	ζ Des capteurs compacts existent Il nécessiterait un calibrage pour la température

Tableau 6

[0113] Les critères d'évaluation pour les procédés de détection de liquide sont décrits dans le **Tableau 7**.

Classement des solutions						
ID	Critères	Description	Poids	C		
				1	3	9
1	Sensibilité aux paramètres environnementaux	Risque de variation de l'affichage avec les paramètres environnementaux	9	Le capteur est très sensible à l'environnement	Il y a une certaine sensibilité, mais elle peut être compensée	Le capteur est insensible à l'environnement
2	Résistance au vieillissement	MTBF	9	MTBF << 4 ans	MTBF ≈ 4 ans	MTBF >> 4 ans
3	Erreur probable maximale	Erreur maximale que peut avoir une probabilité d'apparition significative sur l'affichage	9	> 1 pas	≈ 1 pas	< 1 pas
4	Complexité	Complexité de conception globale du dispositif	3	Capteur très complexe	Complexité modérée	Système simple

Tableau 7

[0114] Une sensibilité aux paramètres environnementaux n'est spécifiée que si le procédé de détection est intrinsèquement sensible, sans possibilité d'éviter cette sensibilité en sélectionnant une interface appropriée, par exemple.

[0115] Pour tous les capteurs indirects considérés, ainsi que pour la régulation en boucle ouverte, on considère que l'actionneur qui déplace le liquide est volumétrique, c'est-à-dire qu'une certaine position de l'actionneur correspond à une position de la colonne de liquide. Cette hypothèse est émise car aucun générateur de pression n'a dépassé la sélection des actionneurs.

[0116] Le classement des solutions sélectionnées des capteurs de niveau de liquide est présenté dans le **Tableau 8**.

CH 715 656 B9

	Nom	Sensibilité aux paramètres environnementaux	Résistance au vieillissement	Erreur maximale probable	Complexité	TOTAL	CLASSEMENT
Réf.	Importance	9	9	9	3		
1.1	Capteur capacitif	Insensible : régulation en boucle fermée complète 9	Aucun problème connu 9	Boucle fermée : erreur inférieure à 1 pas 9	Système très simple 9	270	1
1.4	Capteur résistif	Insensible : régulation en boucle fermée complète 9	1	Boucle fermée : erreur inférieure à 1 pas 9	Système très complexe, implique des électrodes dans le liquide 3	180	4
2	Boucle ouverte	Insensible pour les vrais doseurs volumétriques 9	Aucun problème de détection, attention particulière requise du côté actionneur 6	erreur \approx 1 pas 3	Système très simple 9	189	3
3.1	Capteur inductif sur l'actionneur	Insensible : le déplacement du liquide est suivi 9	Aucun problème connu 9	erreur \approx 1 pas 3	Système très simple 9	216	2
3.2	Codeur sur l'actionneur	Insensible : le déplacement du liquide est suivi 9	Aucun problème connu 9	erreur \approx 1 pas 3	Système très simple 9	216	2
3.3	Capteur de pression	Très sensible, les variations de température doivent être compensées 1	Possible dérive de la pression de référence 3	Erreur importante possible en cas de mauvais calibrage 1	Capteur complexe, il faut intégrer le capteur de température également 1	48	5

Tableau 8

[0117] Les résultats sont les suivants :

- ∩ Le capteur capacitif est la solution préférée car il permet une commande en boucle fermée fiable de la position de la colonne de liquide, tout en s'appuyant sur une technologie relativement simple.
- ∩ Les procédés de détection indirecte arrivent en deuxième position. Les deux sont simples, mais peuvent conduire à des erreurs légèrement plus élevées, car aucune régulation en boucle fermée n'est effectuée.

∫ La régulation en boucle ouverte se place en troisième position. Elle peut présenter une erreur, et des précautions particulières doivent être prises de sorte que la distribution par étape de l'actionneur ne change pas avec le temps. Cependant, sa simplicité est un grand avantage.

[0118] Ces trois premiers groupes de solutions seront présentés en détail dans la section suivante. Ce ne sera pas le cas du capteur résistif, car il a des performances similaires, même s'il a une conception beaucoup plus complexe.

Présentation détaillée des principales solutions

[0119] Nous décrivons ici le capteur capacitif. Deux mises en oeuvre du capteur capacitif sont possibles. Une solution de mise en oeuvre est un capteur à électrode unique, où le niveau de liquide est déduit de la valeur analogique de la capacité mesurée sur l'ensemble du tube. Une autre solution de mise en oeuvre est un capteur à électrodes multiples, où le niveau de liquide est déterminé comme une valeur numérique, à l'aide de 144 électrodes, pour tous les pas de temps.

[0120] La première solution permettrait d'utiliser un circuit électronique plus simple, mais pourrait s'avérer difficile à calibrer en raison de la sensibilité du circuit analogique aux paramètres environnementaux. La seconde, cependant, serait une solution extrêmement robuste. Les deux solutions sont présentées sur la **Figure 43A** et la **Figure 43B**.

[0121] La robustesse de la seconde mise en oeuvre, ainsi que sa compatibilité avec la solution d'électromouillage, en font une solution préférée.

[0122] Nous décrivons ici le capteur inductif sur l'actionneur. Le capteur inductif placé sur l'actionneur mesure la position d'une ferrite dans une bobine, en mesurant l'inductance de cette bobine. Il est présenté schématiquement sur la **Figure 44**. De tels capteurs sont déjà largement utilisés et fournissent des résultats très fiables.

[0123] Nous décrivons ici le codeur sur l'actionneur. Un codeur est un système simple qui fournit la position absolue, ou le déplacement, d'un actionneur rotatif. Un schéma d'un tel système, ainsi qu'une roue de codage pour un positionnement absolu, sont présentés sur la **Figure 45A** et la **Figure 45B** respectivement. Ce système peut être réalisé avec pratiquement n'importe quelle précision souhaitée, en fonction de l'application.

[0124] Le codeur et le capteur inductif ont des performances similaires. Le premier est plus adapté aux applications rotatives et le second à la translation linéaire. La direction de déplacement principale de l'actionneur doit être le motif de distinction entre ces deux capteurs.

[0125] Nous décrivons ici le calcul de la dilatation thermique, en particulier la dilatation thermique de matériaux. La température ambiante est un paramètre externe qui agit directement sur le système et sur le liquide dans le tube d'affichage et donc sur sa précision pour l'affichage de l'heure. Son effet est accru pour un plus grand volume de réservoir fixé à un petit capillaire d'affichage. Les pièces telles que le réservoir de liquide, le tube d'affichage et le liquide lui-même doivent être prises en compte avec le second réservoir de liquide pour un scénario liquide-liquide. Plage de température applicable : °C [-10 ; +40].

[0126] Coefficients de dilatation linéaire thermique typiques des matériaux et des liquides ∫ [K⁻¹]

∫	Invar :	2×10 ⁻⁶
∫	Verre :	10-70×10 ⁻⁶
∫	PMMA, PC :	50-100×10 ⁻⁶
∫	PUR:	50-80×10 ⁻⁶
∫	PP :	100-150× 10 ⁻⁶
∫	LDPE:	280×10 ⁻⁶
∫	PVC :	60×10 ⁻⁶

[0127] Coefficients de dilatation volumique typiques des liquides ∫ [K⁻¹]

∫	Vif-argent :	180×10 ⁻⁶
∫	Eau :	207×10 ⁻⁶ à 20°C (dilatation anormale)
∫	Éthanol :	750×10 ⁻⁶
∫	Éther :	1700×10 ⁻⁶

ζ	Glycérol	500×10 ⁻⁶
ζ	Essence :	900×10 ⁻⁶
ζ	Huile de silicone :	1170×10 ⁻⁶

[0128] Le coefficient de dilatation volumique des liquides est plus ou moins 3 fois supérieur à ζ, cependant l'eau par exemple est hautement non linéaire.

[0129] La mise en correspondance des matériaux et des liquides sera définie ultérieurement en fonction des modes de réalisation de conception sélectionnés. Des critères tels que la viscosité (par rapport à un dispositif de pompage), la tension superficielle, la miscibilité, la température de congélation et la stabilité dans la plage de températures indiquée sont pris en compte.

[0130] Les calculs montreront l'effet d'un liquide avec un coefficient ζ de 500 × 10⁻⁶ [K⁻¹], un réservoir en PP (ζ 125 × 10⁻⁶ [K⁻¹] (ou 3×ζ = 375 × 10⁻⁶ [K⁻¹])) et un tube d'affichage en PVC (60 × 10⁻⁶ [K⁻¹]). La différence est d'environ 125 × 10⁻⁶ [K⁻¹].

[0131] Nous décrivons ici les calculs pour un réservoir en PP. Le graphique de la **Figure 46** présente la longueur d'augmentation de liquide dans le tube indicateur pour un changement de température de 25 °C. Température appliquée à l'ensemble du système. Matériau du réservoir en PP, Matériau de tube en PVC, Liquide avec un coefficient de dilatation volumique de 500 × 10⁻⁶ [K⁻¹].

[0132] V_{tube} est le volume de liquide maximal dans le tube d'affichage (longueur de 120 m, diamètre de 0,5 mm donnant 0,024 ml).

[0133] Les courbes confirment que, pour un volume de réservoir relativement plus grand, la différence des coefficients de température entre le tubage et le liquide induit une plus grande imprécision. L'effet est largement augmenté pour un tube d'affichage capillaire.

[0134] Le volume de réservoir est mis à l'échelle linéairement du volume de tube. Si le diamètre de tube est grand, le réservoir est agrandi pour correspondre au volume. Par conséquent, le décalage dans le tube en raison de la température ne dépend pas du diamètre de tube. L'équation suivante exprime la longueur de décalage par rapport à un volume de réservoir en fonction du volume d'affichage. P est le paramètre commençant de 1 (volume minimal de liquide pour le tube Décalage à 5 (le réservoir ^{Tube zone} jusqu'à 5 fois le volume d'affichage) et L_{tube} : 120 mm.

$$\text{Offset} = \frac{\Delta V}{\text{Tube_area}} = \frac{\text{Tube zone}}{\text{Tube_area}} = \frac{P \text{ Tube_area } L_{\text{tube}} (1 + \Gamma \Delta T)}{\text{Tube_area}} = \frac{P L_{\text{tube}} [(1 + \alpha_{pp} \Delta T)^3 - (1 + \gamma_{liq} \Delta T)]}{(1 + \alpha_{pvc} \Delta T)^2}$$

[0135] Et les courbes sont affichées sur le graphique de la Figure 47.

[0136] Les liquides et les solides étant considérés comme incompressibles, les gaz sont comprimés selon la loi des gaz parfaits.

[0137] Nous en concluons que :

- ζ le décalage dans l'affichage dû à la température est linéaire par rapport au volume et au diamètre de canal correspondant ;
- ζ le volume doit être réduit au minimum tandis que le diamètre de tube doit être augmenté au maximum, idéalement, le volume de liquide correspond au volume d'affichage requis (canal de 120 mm de long et confort de lecture) ;
- ζ une chambre souple est requise en cas d'interface liquide/air (canal linéaire) ou d'une double interface liquide/liquide (canal en boucle fermée) ; et
- ζ Le coefficient de dilatation thermique de matériau du réservoir pourrait correspondre au coefficient de dilatation thermique du liquide.

Effets thermiques sur le gaz

[0138] Des gaz sont contenus dans la chambre d'affichage et la chambre de décompression en cas d'interface liquide/gaz. Ils respectent la loi des gaz parfaits.

P V = n R T

[0139] Pour un processus isochore (aucune dilatation de matériau ou de liquide), un gaz soumis à un changement de température de 25 °C centré autour de 15 °C observe un changement de pression de 8,7 % qui interagit directement avec la partie souple de la conception.

Dissolution des gaz et pression de vapeur

[0140] Dans le cas d'un affichage liquide-gaz avec une chambre de compression rigide, une partie du gaz se dissoudrait dans le liquide à mesure que le dispositif avance. Ce gaz serait autorisé à dégazer après la réinitialisation. L'objectif de cette section est de déterminer s'il y a un risque qu'une bulle apparaisse dans l'affichage et coupe l'affichage en deux.

[0141] Le nombre de moles de gaz dissous en une quantité donnée de liquide, à une pression donnée, est calculé comme suit :

$$n_{\text{dissous}} = P \cdot V_{\text{liquide}} \cdot k_H$$

[0142] Dans cette équation, k_H est une constante, dépendante du liquide et du gaz.

[0143] La pression atteinte dans la chambre de compression à la fin de l'affichage est calculée comme suit :

$$P_{\text{finale}} = P_{\text{initiale}} \cdot \frac{V_{\text{chambre}} + V_{\text{tube}}}{V_{\text{chambre}}}$$

$$V_{\text{chambre}} = \kappa_1 \cdot V_{\text{tube}}$$

$$P_{\text{finale}} = P_{\text{initiale}} \cdot \frac{\kappa_1 + 1}{\kappa_1}$$

[0144] Le volume total de liquide disponible dans le système est égal au volume de réservoir. Le volume de réservoir lui-même peut être exprimé comme suit :

$$V_{\text{réservoir}} = \zeta_2 \cdot V_{\text{tube}}$$

[0145] Par conséquent, le nombre de moles capables de dégazer après la réinitialisation peut donc être calculé comme suit :

$$n_{\text{dégazage}} = n_{\text{dissous final}} - n_{\text{dissous initial}}$$

$$n_{\text{dégazage}} = P_{\text{finale}} \cdot V_{\text{réservoir}} \cdot k_H - P_{\text{initiale}} \cdot V_{\text{réservoir}} \cdot k_H$$

$$n_{\text{dégazage}} = \kappa_2 \cdot V_{\text{tube}} \cdot P_{\text{initiale}} \cdot k_H \cdot \left(\frac{\kappa_1 + 1}{\kappa_1} - 1 \right)$$

$$n_{\text{dégazage}} = \frac{\kappa_2 \cdot V_{\text{tube}} \cdot P_{\text{initiale}} \cdot k_H}{\kappa_1}$$

[0146] Le volume correspondant peut alors être calculé à l'aide de la loi des gaz parfaits, qui stipule ce qui suit:

$$P_{\text{initiale}} \cdot V_{\text{dégazage}} = n_{\text{dégazage}} \cdot R_{\text{gaz}} \cdot T_{\text{ambiante}}$$

$$V_{\text{dégazage}} = \frac{n_{\text{dégazage}} \cdot R_{\text{gaz}} \cdot T_{\text{ambiante}}}{P_{\text{initiale}}}$$

$$V_{\text{dégazage}} = \frac{\kappa_2 \cdot V_{\text{tube}}}{\kappa_1} \cdot R_{\text{gaz}} \cdot T_{\text{ambiante}} \cdot k_H$$

[0147] On constate que cette dernière expression repose sur trois paramètres :

- ζ le volume du tube
- κ le rapport entre le volume de tube et de chambre de décompression
- κ le rapport entre le volume de tube et de réservoir

[0148] Si nous ne souhaitons pas qu'une bulle apparaisse dans l'affichage, elle y resterait, un critère peut être que le volume de gaz de dégazage ne doit pas occuper une bulle sphérique d'un diamètre égal ou supérieur au diamètre de tube. De cette façon, si la bulle est plus petite que le tube, il est probable qu'elle migre vers le réservoir ou la chambre de décompression, n'étant donc pas visible dans l'affichage. Par conséquent, nous souhaitons ce qui suit :

$$r_{bulle} \leq r_{tube}$$

$$\sqrt[3]{\frac{3 \cdot V_{dégazage}}{4 \cdot \pi}} \leq \sqrt{\frac{V_{tube}}{L_{tube} \cdot \pi}}$$

[0149] Ce calcul a été effectué pour une plage de paramètres d'entrée et avec prise en considération de la solubilité de l'hélium dans l'eau. La solubilité de l'hélium dans l'eau est :

$$k_{H_{He}} = 3,7 \cdot 10^{-4} \text{ [mol/l-atm]}$$

[0150] Il s'agit d'une valeur très faible (air : $k_H = 7,8 \cdot 10^{-4}$, ammoniac : $k_H \approx 50$). Le résultat du calcul est présenté sur la **Figure 48**.

[0151] Conclusions :

- ∩ Il n'est pas possible, selon les hypothèses prises en considération, d'avoir une bulle de dégazage d'un diamètre inférieur à celui du tube
- ∩ Même les rapports bulle/tube de 2 se limitent aux très grands tubes, aux grands volumes de chambre et aux réservoirs relativement petits
- ∩ Selon ces hypothèses, il semble difficile de garantir qu'aucune bulle ne perturbe l'affichage liquide
- ∩ Cela tend à indiquer qu'un affichage liquide-vide ou liquide-liquide doit être préféré

Calcul du budget énergétique

[0152] Les piles bouton disponibles sur le marché de lithium/manganèse et de lithium/carbone monofluorure fournissent une tension nominale de 3 V (point d'extrémité de 2 V) et une capacité de batterie d'environ 100 à 600 mAh. Modèles de cellules de batterie CR2025 à CR2450 et BR, avec des dimensions extérieures de 2,5 mm × Ø20 mm à 5 mm × Ø24,5 mm.

[0153] Les calculs suivants présentent le budget énergétique disponible pendant 2 ans avec une seule pile bouton de 3 V (tension d'extrémité de 3 V) et 210 mAh (entre parenthèses dans le pire des cas) :

- ∩ Quantité de courses de 5min : 210'400 (<1s)
- ∩ Nombre de courses de ∩retour∩ de 12 heures : 1 461 (<30 s)
- ∩ Quantité de réglages (5/mois) : 120 (<5s) Résultat :
- ∩ Durée de vie des étapes : 70,675 heures, dans le pire des cas
- ∩ Durée de vie des étapes avec retour mécanique (actionneur non actif pendant la réinitialisation) : 58,3 heures

[0154] Calcul pour le prototype de micromoteur piézoélectrique actionné Squiggle choisi pour le prototype initial URS :

- ∩ Consommation d'énergie : 330 mW
- ∩ Résultat de la consommation de courant : 110 mA
- ∩ Durée de vie totale du Squiggle : 210 mAh/110 mA = 1,9 heure ou seulement 2,7 % de la durée de vie prévue

[0155] Les valeurs montrent que le budget énergétique n'est pas du même ordre de grandeur que le budget de consommation. Squiggle pourrait être commandé à une consommation de puissance inférieure, mais même avec une puissance 10 fois inférieure, la durée de vie ne serait étendue qu'à 27 %. La fiche technique indique une puissance d'entraînement minimale d'environ 150 mW pour une charge axiale de 15 gf pour atteindre un déplacement de 1 mm/s.

[0156] Avec un budget énergétique défini donné par 1 cellule de batterie, l'énergie théorique disponible pour chaque étape est (dans le pire des cas) :

- ∩ Énergie de pile bouton : $210 \text{ mAh} \times 3 \text{ V} = 2\,270 \text{ J}$
- ∩ Consommation d'énergie moyenne : $10,7 \text{ mJ}$
- ∩ Consommation de puissance moyenne : $8,9 \text{ mW}$ (courses de 1 s, courses de réinitialisation de 30 s, réglages de 5 s)

[0157] Dans les pires conditions, plus de 82 % du temps d'actionnement se trouve dans la fonction d'horloge, pas de 5min (actionnement de 1 s), et celui-ci peut être considérablement réduit avec un procédé d'actionnement plus court. Dans ce calcul, 17 % représentent le temps de réinitialisation d'actionneur restant qui pourrait également être considérablement réduit en fonction de la conception sélectionnée (chambre souple et sans pression). Les réglages sont négligeables.

[0158] La conception doit tenir compte de l'espace disponible pour la pile bouton supplémentaire (capacité de doublement) et réduire autant que possible le temps d'actionnement des étapes et des réinitialisations. La conception pourrait également mettre en œuvre un stockage d'énergie mécanique dans un ressort en spirale pour le rechargement mécanique, mais l'actionnement doit fonctionner contre le rechargement du ressort.

[0159] Autres fonctions nécessitant de l'énergie électrique non incluses dans ce calcul :

- ∩ Microcontrôleur
- ∩ Capteur de position (min. 1/5min, plus pendant les réglages)
- ∩ Horloge numérique
- ∩ LED de rétroéclairage (1/jour, 10 s par utilisation, 2,03 heures/2 ans)
- ∩ Indicateur de bouton LED bleue basse consommation (12 heures par jour, 8 760 heures/2 ans)

Consommation de puissance LED :

[0160] Les LED basse consommation disponibles sur le marché ont besoin d'une tension nominale de 2,2 V et d'un courant de 1 mA pour une puissance de 2,2 mW.

- ∩ Le bouton LED aurait une consommation d'énergie de $1\,388 \text{ J}$ (!)
- ∩ LED de rétroéclairage (tension nominale de 3 V, 20 mA) : 438 J

[0161] Par conséquent, la lumière du bouton LED doit être redéfinie en durée et en intensité afin de réduire sa consommation. Le budget énergétique de l'actionneur serait inférieur à 20 % de la capacité.

[0162] Nous décrivons ici les calculs de pression. Dans le cas d'un affichage avec une interface liquide/gaz et une chambre de décompression rigide, la pression augmentera linéairement tandis que le liquide progressera à mesure que le gaz sera comprimé dans la chambre de compression. La pression finale dépendra de deux paramètres :

- ∩ La section du tube, qui définit la quantité de gaz à comprimer
- ∩ Le volume de la chambre de décompression

[0163] La pression finale peut donc être calculée comme suit :

$$P_{\text{finale}} = P_{\text{initiale}} \cdot \frac{V_{\text{chambre}} + V_{\text{tube}}}{V_{\text{tube}}}$$

[0164] La pression finale dans la chambre de compression en fonction de ces paramètres est présentée sur la **Figure 49**. Les mêmes valeurs sont représentées sous la forme d'un tracé de contour sur la **Figure 50**.

[0165] Comme cela est visible sur ces figures, des pressions importantes peuvent facilement être atteintes. Cela entraînerait à la fois une consommation d'énergie plus élevée dans l'actionneur et des exigences mécaniques plus élevées pour l'indicateur. Les mesures qui peuvent être prises pour limiter ces contraintes sont les suivantes. Le volume de chambre de décompression peut être augmenté au maximum, ce qui implique une augmentation de la taille globale. De plus, la section de tube peut être réduite au minimum, ce qui peut cependant affecter la visibilité. En outre, une interface liquide-liquide

peut être utilisée, ce qui nécessite soit un réservoir souple à chaque extrémité du tube, soit, en variante, un tube faisant une boucle, qui ne nécessiterait aucun type d'espace de réservoir.

[0166] Nous décrivons ici le piston avec des calculs de force de chambre de décompression rigide, à savoir la force de réaction de piston. Pour un système avec un piston et une interface liquide-gaz, la force agissant sur le piston variera linéairement avec la progression du liquide dans l'indicateur. Celle-ci, à son tour, sera convertie en une force qui dépend de la section du piston, qui peut s'écrire :

$$F_{finale} = P_{initiale} \cdot \frac{V_{chambre} + V_{tube}}{V_{chambre}} \cdot S_{piston}$$

[0167] La force maximale agissant sur le piston, en fonction du diamètre de tube, du volume de chambre et du diamètre de piston, est présentée sur la **Figure 51**.

[0168] On constate que, sur une grande partie du graphique, la force maximale ne dépasse pas 1 [N].

[0169] La course de piston, en fonction du diamètre de piston et du diamètre de tube, est présentée sur la **Figure 52**. Elle devra être réglée en fonction des contraintes dimensionnelles du dispositif, mais affectera également la consommation d'énergie de pompe, car un piston plus grand nécessitera plus de force pour être actionné.

[0170] La puissance mécanique est définie comme suit :

$$P_{mécanique} = \frac{F_{piston} \cdot d_{course}}{t_{course}}$$

$$P_{mécanique\ moyenne} = \frac{F_{piston\ moyenne} \cdot d_{course}}{t_{course}}$$

$$P_{mécanique\ moyenne} = \frac{F_{piston\ max} / 2 \cdot d_{course\ totale}}{t_{course} / 144}$$

d_{course} étant la distance qui doit être fournie par le piston pour un incrément de 5 minutes, $d_{course\ totale}$ étant la longueur de course totale précédemment calculée du piston et t_{course} étant la durée de course définie comme 1 [s]. Lorsque la force d'actionneur augmente linéairement avec la progression de l'affichage, la moitié de la force maximale calculée est considérée comme la force moyenne requise.

[0171] La puissance électrique requise peut alors être calculée comme suit :

$$P_{électrique\ moyenne} = \frac{P_{mécanique\ moyenne}}{\eta_{total}}$$

η_{total} étant l'efficacité globale du système, compte tenu des pertes de puissance électrique et mécanique. Des isosurfaces de consommation de puissance peuvent alors être dessinées, telles que présentées sur la **Figure 53**. La consommation de puissance totale autorisée est estimée à 11 [mW], comme celle qu'une pile bouton peut fournir au système pendant deux ans de fonctionnement continu.

[0172] En considérant une efficacité globale inférieure à 30 % pour fixer une limite raisonnable à la consommation moyenne d'énergie, on atteint une valeur de 3 [mW].

[0173] Pour le calcul de la consommation de puissance maximale autorisée, on suppose que le retour est effectué à l'aide de la pression générée pendant le mouvement vers l'avant, c'est-à-dire que l'actionneur n'a pas besoin d'être activé pour le retour.

[0174] On constate que la tendance de la consommation de puissance n'est pas la même que pour la force. Cela est dû au fait que, alors que les pistons plus grands nécessitent plus de force, leur distance de course est considérablement réduite.

[0175] Nous décrivons ici le temps de retour de piston par rapport à la force de retour. Une représentation schématique d'un système liquide-vide est présentée sur la **Figure 54**. Dans ce système, la force exercée par le vide doit être compensée

par la force du ressort de rappel, afin que le système soit en équilibre. De plus, une force doit être ajoutée de sorte que le retour est effectué suffisamment rapidement.

[0176] Il faut noter que la situation est la même dans une interface liquide-gaz avec une chambre de compression souple, ou dans un système liquide-liquide, sauf que l'aspiration générée par le vide n'est pas présente, ce qui diminue les forces globales.

[0177] L'écoulement dans un tube, sous un certain différentiel de pression, et en supposant que l'écoulement est laminaire, est calculé comme suit :

$$Q_{\text{liquide}} = \Delta P \cdot \frac{1}{R_{\text{tube}}}$$

[0178] Où R_{tube} est la résistance fluïdique du tube à l'avancement du liquide. Il peut être calculé par la loi de Poiseuille comme suit :

$$Q_{\text{liquide}} = \Delta P \cdot \frac{\pi \cdot r_{\text{tube}}^4}{l_{\text{tube}} \cdot \nu_{\text{liquide}} \cdot 8}$$

$$Q_{\text{liquide}} = \nu_{\text{liquide}} \cdot S_{\text{tube}}, \Delta P = \frac{F_{\text{retour}}}{S_{\text{piston}}}, S_{\text{tube}} = \pi \cdot r_{\text{tube}}^2, S_{\text{piston}} = \pi \cdot r_{\text{piston}}^2$$

$$\nu_{\text{liquide}} = \frac{F_{\text{retour}} \cdot r_{\text{tube}}^2}{8 \cdot \pi \cdot l_{\text{tube}} \cdot \nu_{\text{liquide}} \cdot r_{\text{piston}}^2}$$

[0179] Si nous considérons le retour complet du liquide, à partir de l'affichage complètement rempli, la résistance fluïdique diminuera régulièrement avec l'avancement du liquide. La résistance fluïdique moyenne sera égale à celle de la moitié de la longueur totale de tube du tube. Cependant, si l'interface est une interface liquide-liquide, la résistance fluïdique ne changera pas avec l'avancement du liquide. Les vitesses suivantes sont donc calculées pour les deux cas :

$$\bar{\nu}_{\text{liquide, affichage liquide-gaz}} = \frac{F_{\text{retour}} \cdot r_{\text{tube}}^2}{8 \cdot \pi \cdot \frac{l_{\text{tube}}}{2} \cdot \nu_{\text{liquide}} \cdot r_{\text{piston}}^2} \quad \bar{\nu}_{\text{liquide, affichage liquide-liquide}} = \frac{F_{\text{retour}} \cdot r_{\text{tube}}^2}{8 \cdot \pi \cdot l_{\text{tube}} \cdot \nu_{\text{liquide}} \cdot r_{\text{piston}}^2}$$

[0180] La vitesse de retour du liquide dépend donc de quatre paramètres :

- ∩ La force de ressort de rappel
- ∩ Le rayon de tube
- ∩ La viscosité du liquide
- ∩ Le rayon de piston

[0181] Le temps maximal spécifié pour le retour est de 30 [s].

[0182] Des isosurfaces de temps de retour en fonction du rayon de tube et de piston, et de la force de retour, sont présentées sur la **Figure 55** pour une interface silicone-silicone, et sur la **Figure 56** pour une interface eau-eau. On constate que, dans les deux cas, la situation où le retour prend 30 secondes ou plus est exceptionnelle. Cependant, si un retour beaucoup plus rapide est nécessaire, il convient de prendre des précautions pour le choix des dimensions.

[0183] Nous décrivons ici les calculs de couple de roue en spirale et les formules générales de spirale. Les forces agissant sur la spirale à un instant donné sont présentées sur la **Figure 57**. Les variables en présence sont la force (F) du piston,

la force perpendiculaire équivalente (R) générant le couple sur la spirale, l'angle (ζ) entre la tangente et la spirale et la tangente d'un cercle passant par ce point (calcul suivant), l'angle ajouté (ζ) dû au frottement, calculé comme $\zeta = a \tan(\mu)$, où μ est le frottement, et le couple (M) requis pour faire tourner la roue en spirale.

[0184] ζ est calculé à tout moment comme suit :

[0185]

$$\alpha = a \tan \left(\frac{1}{r(\Theta)} \cdot \frac{dr}{d\Theta} \right)$$

[0186] Le couple requis s'écrit donc :

$$M = F \cdot \tan(\alpha + \rho) \cdot r(\Theta)$$

[0187] Nous décrivons ici le calcul de spirale à couple constant. Si une chambre de compression rigide doit être utilisée, la forme en spirale doit être adaptée en conséquence, afin de maintenir le couple sur l'entraînement constant. Si une spirale logarithmique était utilisée dans ce cas, le couple augmenterait pendant que l'affichage progresse, ce qui nécessiterait la mise en œuvre d'un entraînement qui serait surdimensionné sur la majeure partie de la distance de course, afin de pouvoir fournir suffisamment de couple à la fin de la course.

[0188] Le système en spirale généralisé est présenté avec certaines de ses valeurs clés sur la **Figure 58**.

[0189] La pression dans la chambre de compression peut s'écrire comme suit :

$$P_{chambre} (L_{liquide}) = P_{atmosphère} \frac{V_{chambre} + V_{tube}}{V_{chambre} + V_{tube} - L_{liquide} \cdot S_{tube}}$$

connu :

$$L_{liquide} = L_{piston} \cdot \frac{S_{piston}}{S_{tube}}, L_{piston} = r(\Theta) - r(0), F_{piston}(\Theta) = (P_{chambre}(\Theta) - P_{atmosphère}) \cdot S_{piston}$$

Puis :

$$F_{piston}(\Theta) = \left[P_{atmosphère} \frac{V_{chambre} + V_{tube}}{V_{chambre} + V_{tube} - (r(\Theta) - r(0)) \cdot S_{piston}} - P_{atmosphère} \right] \cdot S_{piston}$$

[0190] Nous souhaitons dans ce calcul avoir un couple constant sur l'entraînement. Comme vu dans la section précédente, le couple est calculé comme suit :

$$M(\Theta) = F(\Theta) \cdot \tan(\alpha(\Theta) + \rho) \cdot r(\Theta)$$

[0191] Afin de résoudre cette équation, nous supposons que la contribution du frottement est nulle. Nous savons que ζ , l'angle de la spirale, peut être calculé comme suit :

$$\alpha = a \tan \left(\frac{1}{r(\Theta)} \cdot \frac{dr}{d\Theta} \right)$$

[0192] Par conséquent, le couple peut être calculé approximativement comme suit :

$$M(\Theta) = F(\Theta) \cdot \frac{dr(\Theta)}{d\Theta}$$

[0193] Un couple constant signifie que nous souhaitons que la dérivée du couple en fonction de la position angulaire de la spirale soit nulle. Par conséquent :

$$\frac{dM(\Theta)}{d\Theta} = \frac{dF(\Theta)}{d\Theta} \cdot \frac{dr(\Theta)}{d\Theta} + F(\Theta) \cdot \frac{d^2r(\Theta)}{d\Theta^2} = 0$$

[0194] Puisque la force dépend de l'angle, cela conduit à une équation différentielle complexe de second ordre. Si une solution impliquant une roue en spirale et une interface liquide-gaz est choisie, la forme de la spirale est calculée numériquement.

[0195] Il faut noter que, si une forme de spirale autre qu'une spirale d'Archimède est utilisée, la taille de pas à effectuer par le moteur ne sera pas constante le long du mouvement du piston, car l'incrément de distance de la spirale ne sera pas constant avec l'angle.

[0196] Nous décrivons ici les calculs de la spirale d'Archimède. La spirale d'Archimède est l'une des formes les plus simples, avec comme équation :

$$r(\Theta) = a + b \cdot \Theta$$

[0197] Une telle spirale est présentée sur la **Figure 59**. Elle a la particularité que, pour une rotation donnée de la spirale, le déplacement linéaire du piston pressé contre lui est toujours constant, quel que soit l'angle. Cette situation n'est pas vraie pour les autres formes de spirales. Si une autre spirale qu'une spirale d'Archimède était utilisée, la vitesse de rotation du moteur ne serait pas constante afin d'obtenir un déplacement constant de l'indicateur.

[0198] La spirale d'Archimède a la propriété que la pente en spirale α diminue avec la progression de la position angulaire Θ , qui à son tour diminue le couple requis. Elle est présentée ci-après comme une solution possible pour les situations où le gaz doit être comprimé dans une chambre rigide.

[0199] Comme calculé dans le chapitre précédent, le couple à fournir par l'actionneur pour un gaz général de compression en spirale est :

$$M(\Theta) = F(\Theta) \cdot \tan(\alpha(\Theta) + \rho) \cdot r(\Theta)$$

[0200] Dans une spirale d'Archimède, l'angle de pente en spirale est calculé comme suit :

$$\alpha = a \tan\left(\frac{1}{r(\Theta)} \cdot \frac{dr}{d\Theta}\right)$$

$$\alpha = a \tan\left(\frac{b}{a + b \cdot \Theta}\right)$$

[0201] Alors que le couple est :

$$M(\Theta) = F(\Theta) \cdot \tan(\alpha(\Theta) + \rho) \cdot r(\Theta)$$

[0202] En négligeant l'effet du frottement, il est possible d'écrire :

$$M(\Theta) = F(\Theta) \cdot \tan(\alpha(\Theta)) \cdot r(\Theta)$$

$$M(\Theta) = F(\Theta) \cdot \frac{b}{a + b \cdot \Theta} \cdot r(\Theta)$$

$$M(\Theta) = F(\Theta) \cdot b$$

[0203] Nous décrivons ici le calcul de couple pour une interface liquide-gaz, avec les calculs de force établis dans la section ci-dessus, décrivant le calcul de spirale à couple constant. Nous pouvons écrire :

$$M(\Theta) = \left[\frac{P_{initiale} \cdot (V_{chambre} + V_{tube})}{V_{chambre} + V_{tube} - b \cdot \Theta \cdot S_{piston}} - P_{atmosphere} \right] \cdot S_{piston} \cdot b$$

[0204] Dans notre cas particulier, la spirale n'aura qu'un tour. Les paramètres de la spirale doivent donc être définis comme étant le rayon minimal de la spirale, ce qui n'a qu'une importance de conception.

$$b = \frac{d_{course\ totale}}{2 \cdot \pi}$$

[0205] Par conséquent, comme :

$$d_{course_totale} \cdot S_{piston} = V_{tube}$$

$$M(\Theta) = \frac{P_{initiale} \cdot (V_{chambre} + V_{tube} \cdot \frac{V_{tube}}{2 \cdot \pi})}{V_{chambre} + V_{tube} \left(1 - \frac{\Theta}{2}\right)} - P_{atmosphère} \cdot \frac{V_{tube}}{2 \cdot \pi}$$

[0206] On constate que, pour une spirale d'Archimède, si le frottement est négligé, la caractéristique de couple ne dépend pas de la géométrie de la spirale. Cela peut s'expliquer comme suit : si la spirale a une pente élevée, la course du piston sera plus longue, ce qui signifie que sa surface sera inférieure. Cela entraînera à son tour une pression inférieure appliquée sur la surface de piston, ce qui compensera la pente élevée.

[0207] Il faut noter que le volume du réservoir n'a pas de rôle dans le calcul, car il est par définition égal au volume du tube. Le réservoir devra simplement être mis à l'échelle en fonction des dimensions de tube.

[0208] La dernière équation peut être simplifiée par la présentation du volume de chambre en fonction du volume de tube comme suit :

$$V_{chambre} = V_{tube} \cdot \kappa$$

$$M(\Theta) = \frac{P_{initiale} \cdot (V_{tube} \cdot \kappa + V_{tube}) \cdot \frac{V_{tube}}{2 \cdot \pi}}{V_{tube} \cdot \kappa + V_{tube} \left(1 - \frac{\Theta}{2}\right)} - P_{atmosphère} \cdot \frac{V_{tube}}{2 \cdot \pi}$$

$$M(\Theta) = \frac{P_{initiale} \cdot V_{tube} \cdot (\kappa + 1) \cdot \frac{V_{tube}}{2 \cdot \pi}}{V_{tube} \cdot \left(1 + \kappa - \frac{\Theta}{2}\right)} - P_{atmosphère} \cdot \frac{V_{tube}}{2 \cdot \pi}$$

$$M(\Theta) = \frac{P_{initiale} \cdot (\kappa + 1) \cdot \frac{V_{tube}}{2 \cdot \pi}}{1 + \kappa - \frac{\Theta}{2}} - P_{atmosphère} \cdot \frac{V_{tube}}{2 \cdot \pi}$$

[0209] Il est à noter que le couple dépend toujours de la valeur absolue du diamètre de tube. Cependant, le rapport seul est important en ce qui concerne la variation du couple avec la position angulaire. La **Figure 60** présente la courbe du couple en fonction du rapport volume de chambre/volume de tube, et à la position angulaire, pour un diamètre de tube de 2 [mm].

[0210] La même courbe est représentée sous forme de coupures pour différents rapports sur la **Figure 61**. On observe que le couple peut être maintenu relativement stable si des rapports supérieurs à 2 sont utilisés pour le volume de chambre.

[0211] Comme on le constate, ces calculs approximatifs négligent le frottement, ce qui conduit à un couple nul au début de la rotation de la roue. Le frottement doit bien entendu être pris en compte pour des résultats précis.

[0212] Nous en concluons que l'utilisation d'une spirale d'Archimède simplifierait la commande de moteur, car chaque incrément de position de moteur correspondrait à un incrément de niveau de liquide constant. Cependant, cette géométrie en spirale nécessiterait un couple variable, en fonction de sa position angulaire. Ce n'est que si la chambre de compression a plus du double du volume du tube qu'il est possible de maintenir le couple stable avec une spirale d'Archimède. Si le dispositif est plus compact, une spirale à couple constant doit être utilisée. En variante, l'utilisation d'une interface liquide-liquide ou liquide-vide permet de contourner ce problème.

[0213] Nous décrivons ici le calcul de couple pour une interface liquide-liquide. Dans le cas d'une interface liquide-liquide ou liquide-vide, la force agissant sur le piston est considérée comme constante. Le couple peut dans ce cas être calculé comme suit :

$$M(\otimes) = F(\otimes) \cdot b$$

$$M = F \cdot b$$

$$M = F \cdot \frac{d_{course\ totale}}{2 \cdot \pi}$$

[0214] On observe que le couple est constant et ne dépend que de la course totale de la spirale. La force sera déterminée comme la force minimale assurant un retour suffisamment rapide du liquide dans le réservoir, avec les calculs établis au point 5.8. Comme il a ensuite été écrit, la force du ressort de rappel peut être calculée en fonction du temps de retour souhaité comme suit :

$$\begin{aligned} \overline{V}_{\text{liquide, affichage liquide-liquide}} &= \frac{F_{\text{retour}} \cdot r_{\text{tube}}^2}{8 \cdot \pi \cdot l_{\text{tube}} \cdot v_{\text{liquide}} \cdot r_{\text{piston}}^2} \\ \overline{V}_{\text{liquide}} &= \frac{l_{\text{tube}}}{l_{\text{retour}}} \\ F_{\text{retour}} &= \frac{8 \cdot \pi \cdot l_{\text{tube}}^2 \cdot v_{\text{liquide}} \cdot r_{\text{piston}}^2}{l_{\text{retour}} \cdot r_{\text{tube}}^2} \end{aligned}$$

[0215] Par conséquent, le couple peut être calculé comme suit :

$$\begin{aligned} M &= \frac{8 \cdot \pi \cdot l_{\text{tube}}^2 \cdot v_{\text{liquide}} \cdot r_{\text{piston}}^2}{l_{\text{retour}} \cdot r_{\text{tube}}^2} \cdot \frac{d_{course\ totale}}{2 \cdot \pi} \\ \pi \cdot r_{\text{piston}}^2 \cdot d_{course\ totale} &= V_{\text{tube}} \\ M &= \frac{4 \cdot l_{\text{tube}}^2 \cdot v_{\text{liquide}}}{l_{\text{retour}} \cdot r_{\text{tube}}^2} \cdot \frac{V_{\text{tube}}}{\pi} \\ \frac{V_{\text{tube}}}{\pi \cdot r_{\text{tube}}^2} &= l_{\text{tube}} \\ M &= \frac{4 \cdot l_{\text{tube}}^3 \cdot v_{\text{liquide}}}{l_{\text{retour}}} \end{aligned}$$

[0216] C'est un résultat vraiment remarquable. Le couple requis dans cette situation ne dépend que de la viscosité du fluide considéré, et du temps de retour souhaité, la longueur de tube étant donnée.

[0217] Pour une interface liquide-vide, ce couple serait divisé par deux, tout comme la résistance fluidique moyenne du tube lors du retour du liquide dans un tel cas.

[0218] On constate que le couple requis dépend directement de la viscosité du liquide. Le couple requis résultant pour l'eau et l'huile de silicone est présenté sur la **Figure 62**. On observe qu'en raison de la différence de viscosité entre l'eau et l'huile de silicone, les exigences de couple sont finalement sensiblement différentes. Cependant, dans les deux cas, les couples sont maintenus dans des limites raisonnables.

[0219] Il est à noter que, dans cette première approximation où le frottement est négligé, les couples sont généralement d'un ordre de grandeur inférieur pour une interface liquide-liquide ou liquide-vide par rapport à une interface liquide-gaz.

[0220] Nous décrivons ici l'électromouillage et la consommation de puissance. Le schéma du principe d'électromouillage est présenté sur la **Figure 63**. Comme présenté sur le côté droit de la figure, un afficheur à électromouillage peut être représenté comme un réseau de condensateurs. Lorsque la gouttelette doit être déplacée, l'électrode à côté d'elle est alimentée en courant, ce qui diminue la tension superficielle à cet endroit, entraînant la gouttelette. L'électrode alimentée

en courant est connectée à un condensateur généré par l'isolation et l'hydrophobisation, dont l'électrode de masse est la gouttelette d'eau elle-même.

[0221] La valeur d'un condensateur plan est calculée comme suit :

$$C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{S_{condensateur}}{d}$$

[0222] Dans notre cas, les électrodes sont rectangulaires, et le condensateur est constitué de deux couches consécutives (isolation et hydrophobisation). Cependant, la couche d'hydrophobisation est trop mince pour fournir une isolation électrique. Les propriétés de la couche d'isolation sont :

Couche	Matériau	Épaisseur	Constante
Isolation	Parylène C	800 [nm]	3.15 ²

[0223] La taille des électrodes peut être déterminée comme suit :

∩ Longueur = 0,833 [mm] ∩ 120 [mm] divisé en 144 électrodes

∩ Largeur = 1 [mm], **hypothèse**

[0224] La valeur de condensateur est alors approximativement calculée à C = 29 [pF]. Cette valeur correspond aux valeurs typiques dans les ouvrages et est également une valeur facilement mesurable par les puces de détection capacitive ordinaires.

[0225] Une première hypothèse de la consommation de puissance pour un incrément de pas, en supposant que le condensateur est complètement chargé dans le processus, peut alors être effectuée avec les éléments suivants :

$$Q_{condensateur} = C \cdot U = I \cdot t$$

$$P = U \cdot I = \frac{C \cdot U^2}{t}$$

[0226] L'objectif est d'effectuer le déplacement avec la tension la plus faible possible. Si l'on examine les résultats présentés sur la **Figure 64**, il semble possible de déplacer la gouttelette avec une tension de 20 [V], à 3 [Hz]. Le temps de déplacement est donc de 0,3 [s], et la puissance requise est de 0,038 [µW].

[0227] Nous en concluons que la valeur de puissance calculée précédemment doit être prise comme indicateur d'ordre de grandeur. Des calculs et des tests raffinés doivent être effectués pour confirmer cette valeur. La puissance semble être extrêmement faible. Cet ordre de grandeur est confirmé dans les ouvrages. À cette consommation s'ajoute la consommation de l'électronique.

[0228] Nous décrivons maintenant la représentation et le classement des modes de réalisation. La méthode des boîtes morphologiques vise à combiner des solutions présentées pour les différentes fonctions du dispositif, afin de générer des concepts complets. Un résumé des solutions retenues, ainsi que les combinaisons globales, sont présentés sur la **Figure 65**. Comme on le constate, un concept a été conçu par procédé d'actionnement, puisque cette fonction se trouve au cœur du dispositif. Cinq concepts différents sont donc présentés ci-après. Il convient de noter que, bien que la détection de colonne de liquide dépende assez du procédé d'actionnement choisi, ce n'est pas le cas pour l'interface. L'interface proposée peut encore être modifiée, pour certains des concepts proposés. Cinq concepts différents sont présentés sur la **Figure 66**. Cette section présente les conceptions préliminaires des deux solutions présentées dans la dernière section. La partie ∩Hypothèses∩ présente les paramètres qui sont supposés, pour des raisons pratiques ou pour simplifier le calcul. La partie ∩Sélections de conceptions préliminaires∩ présente les calculs qui conduisent aux autres paramètres.

[0229] Nous décrivons ici le mode de réalisation 1 - came en spirale. Puisqu'aucune optimisation complète ne sera effectuée dans cette phase, certains paramètres seront supposés. Ils sont présentés dans le **Tableau 9**.

ID	Objet	Hypothèse	Explication
	Diamètre interne de tube	1 [mm]	Facilement disponible

ID	Objet	Hypothèse	Explication
	Matériau de tube	Polyuréthane	Facilement disponible CTE élevé
	Matériau de réservoir	PET	Facilement disponible CTE élevé
	Liquide n°1	Eau	Facilement disponible Faible viscosité Faible dilatation thermique
	Liquide n°2	Heptane	Incolore Facilement disponible Faible viscosité Densité similaire à celle de l'eau non toxique
	Colorant	Sulforhodamine B (kiton rouge)	Faible viscosité Couleur forte Entièrement soluble dans l'eau, mais pas dans l'heptane
	K2 (rapport entre le diamètre de réservoir et de tube)	2	Relativement faible tout en permettant un assemblage simple
	Mouvement	mouvement de montre $6 \mu s \times 8 \mu s$, en fonction de la Figure 67 .	Facilement disponible Faible coût Représentatif des performances mécaniques et électriques des montres

Tableau 9

Nous décrivons ici le mode de réalisation 2 - électromouillage.

[0230] Dans un autre mode de réalisation, une représentation schématique d'un circuit d'attaque simplifié pour l'afficheur à électromouillage est présentée sur la **Figure 68**. Les éléments suivants sont visibles sur cette figure :

l'ampoule L1 correspond à l'état d'une électrode ;

l'alimentation L0 correspond à l'état de l'électrode précédente ; et

l'alimentation L2 correspond à l'état de l'électrode suivante.

[0231] Ce système ne nécessite que deux paramètres pour fonctionner, à savoir le signal d'horloge CLK, qui indique quand commuter, et la direction DIRECT, qui indique dans quelle direction la gouttelette doit être déplacée.

[0232] Les électrodes elles-mêmes seraient connectées comme cela est schématiquement représenté sur la **Figure 69**. De cette façon, l'actionnement pourrait être réalisé par le traitement de trois groupes d'électrodes, au lieu de traiter chaque électrode séparément.

[0233] Deux autres composants doivent être montés en aval de ce circuit, pour chaque groupe d'électrodes.

[0234] Une grille montée comme astable, afin de générer une impulsion de longueur finie, et un relais pour appliquer la tension d'attaque sur les électrodes.

[0235] Nous décrivons ici un circuit de détection simplifié. Une détection complète sur toutes les électrodes ne permettrait pas de connecter les électrodes à un circuit d'attaque simplifié tel que présenté dans le chapitre précédent. De plus, cela nécessiterait l'utilisation de 144 électrodes, ce qui rendrait l'ensemble du système électriquement très complexe. Pour cette raison, l'ensemble présenté sur la **Figure 70** est proposé. Dans ce système, afin d'entraîner la gouttelette, toutes les électrodes de détection sont connectées à la masse et le signal d'attaque est appliqué aux électrodes d'attaque. Afin de détecter la position de la gouttelette, les électrodes d'attaque sont connectées à la masse et la position est lue sur les électrodes de détection.

[0236] Ce système permet de détecter uniquement une position approximative. Il ne peut donc être utilisé que dans le cas où la gouttelette peut être considérée sans risque comme restant dans sa position pendant un laps de temps de 15 minutes.

[0237] Le schéma de l'électronique de commande complète est présenté schématiquement sur la **Figure 71**. Cette représentation intègre les principaux composants et certaines électrodes. Il convient de noter que tous les fils ne sont pas représentés et que les composants passifs ne sont pas requis pour que le système fonctionne. Le **Tableau 10** est une liste de tous les composants requis pour commander le système. Il faut noter que si ce produit devait être fabriqué en masse, la taille et le coût pourraient être réduits par le développement d'un circuit intégré personnalisé. De plus, les composants présentés dans ce dernier tableau sont une liste provisoire à des fins de conception préliminaire, et non une solution optimisée.

ID	Composant	N°	Spécifications	Fabricant	Modèle	Taille [mm ³]
1	Microcontrôleur	1	Consommation de puissance très faible	OKI	Gamme ML610Q4xx	9 × 9 × 1,2
2	Puce de lecture de capteur capacitif	1	Interface i ² c 13 canaux	Analog Devices	AD7147ACPZ-1	4 × 4 × 1
3	Multiplexeur	4	Multiplexeur analogique 4 bit	Analog Devices	ADG1606	5 × 5 × 1
4	Bascule bis-table	1	3 grilles pour la commutation 3 grilles du circuit astable pour l'impulsion	ST Microelectronics	74LCX574	6,4 × 6,2 × 1,2
5	Source de tension d'entraînement	1	Tension de sortie maximale 28 [V] Faible puissance Faible courant de repos (28 [μA])	Texas Instruments	TPS61040DRVT	2,1 × 2,1 × 0,8
6	Commutateur	1	3 canaux Tension maximale 25 [V]	Analog Devices	ADG1233YRUZ	4 × 4 × 1
7	Pile bouton	1	25 [mAh], 3 [V]	Varta	CR1216	∅ 12 × 1,6

Tableau 10

[0238] Les vues de dessus et latérale d'une mise en œuvre de l'afficheur à électromouillage sont présentées sur la **Figure 72**, avec les composants susmentionnés. Il est à noter que les limitations de taille pour la longueur de l'affichage et la largeur de la pile bouton permettent un espace important pour l'électronique.

[0239] Il convient en outre de noter que, bien que représenté comme un dispositif plat sur cette figure, le substrat pourrait être un circuit d'impression flexible, lui permettant de s'enrouler autour du poignet.

[0240] Une estimation approximative de la consommation de puissance de l'ensemble susmentionné est présentée dans le tableau suivant :

Id	Élément	Consommation
1	Puce de détection capacitive	5 [nA]
2	Microcontrôleur	0,5 [μA]
3	Élévateur	7 [μA]
4	Affichage	Négligeable
	TOTAL	0,5 [μA]

[0241] Avec ce calcul, nous pouvons en conclure qu'un ensemble de batterie de 10 [mAh] est nécessaire pour que le système fonctionne pendant deux ans sans changement de batterie. Ceci est possible à réaliser avec des piles bouton standard. Cependant, bien que la consommation de puissance de l'écran lui-même soit très limitée, il est clair que la consommation des différents composants rend cette solution plus consommatrice d'énergie qu'une simple solution mécanique. Il faut noter que la consommation de puissance serait encore réduite si un circuit intégré personnalisé était utilisé pour cette application.

[0242] La **Figure 73** présente un PCB avec des électrodes ITO transparentes et des composants électroniques. La **Figure 74A** et la **Figure 74B** présentent le détail A de la **Figure 73**. Sur la **Figure 74A** les électrodes de détection sont mises en évidence. Sur la **Figure 74B** les électrodes d'attaque sont mises en évidence. La **Figure 75** présente un schéma de l'électromouillage, tel que fourni par exemple sur la **Figure 38**, la **Figure 40**, la **Figure 63**. Il est fait référence à la **Figure 71**, laquelle présente un schéma complet de l'électronique de commande.

[0243] Le concept 4 pourrait avoir les variantes suivantes. Dans le concept 4A, la ligne de temps autour du poignet est similaire au concept 2. Cette conception ne peut pas être étirée. Par conséquent, la montre a un bracelet à encliquetage classique. Dans le concept 4B, l'heure est affichée dans un boîtier de montre standard. 3 gouttelettes sont déplacées dans différents canaux. Chaque canal a une échelle et représente les secondes, les minutes et les heures sur trois cercles concentriques.

[0244] La **Figure 76** présente l'indication de l'heure sur un bracelet sur la base de l'électromouillage. La **Figure 77** présente l'indication de l'heure de la **Figure 76** en détail. La **Figure 78** présente les dispositifs de fermeture du bracelet.

[0245] La présente invention peut être un dispositif portable, comprenant un affichage de fluide, composé d'au moins un liquide actif et d'un fluide passif. L'au moins un fluide est mis en mouvement par une action d'entrée comme décrit dans cette description. Le mouvement du ou des fluides peut prendre la forme d'une animation ou d'une indication. Le mouvement du ou des fluides peut également créer un effet 3D.

[0246] Le liquide actif est un solvant polaire, non miscible avec un fluide passif et a une énergie de surface élevée. Le fluide passif a une surface à faible énergie, est non miscible avec un liquide actif et a une faible viscosité. Le fluide passif peut être gazeux ou liquide, et s'il est utilisé dans la présente invention comme liquide, il s'agit de préférence d'un solvant apolaire/non polaire.

[0247] Le liquide actif a un point de fusion inférieur à $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ et un point d'ébullition supérieur à $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$. Le fluide passif, s'il est utilisé dans la présente invention sous la forme d'un liquide à température ambiante, a un point de fusion inférieur à $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ et un point d'ébullition supérieur à $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$. Le fluide passif, s'il est utilisé dans la présente invention sous la forme d'un gaz à température ambiante, a un point d'ébullition inférieur à $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

[0248] Les tensioactifs du liquide actif et/ou du liquide passif sont transparents, sont chimiquement stables dans la plage de températures décrite, ont un faible taux de diffusion dans un diélectrique adjacent, ont une grande taille moléculaire et sont résistants aux champs électriques. Les tensioactifs peuvent être ioniques (par exemple cationiques, zwitterioniques ou anioniques) ou non ioniques. Les tensioactifs abaissent la tension de fonctionnement du système.

[0249] Les liquides, passifs et/ou actifs, peuvent être transparents ou colorés. S'ils sont colorés, le colorant peut être ionique (par exemple cationique, zwitterionique ou anionique) ou non ionique. Le colorant peut avoir une grande taille de molécule, est chimiquement stable dans la plage de températures décrite, a un faible taux de diffusion dans un diélectrique adjacent, est résistant aux champs électriques, permet un contraste élevé entre les fluides, en particulier entre les fluides passifs et actifs, et a de bonnes propriétés de solubilité. Le colorant peut être par exemple du type de matrice organique, points quantiques, matrice inorganique ou pigments.

[0250] Les cavités prévues dans la présente invention peuvent être en céramique, en polymère ou en verre, et en particulier en verre saphir. La cavité, si elle se présente sous la forme d'un canal, peut être gravée, et si elle se présente sous la forme d'une chambre, elle peut être gravée et construite à partir de plaques, ou fabriquée à partir de couches intermédiaires. La cavité peut être affinée par une étape de gravure supplémentaire, une étape de dépôt et de structuration de couche, ou une étape de gaufrage à chaud. La surface intérieure de la cavité est de faible rugosité.

[0251] Le substrat utilisé pour loger des cavités peut être en polymère, ou en verre, et en particulier en verre saphir, et est sensiblement transparent au moins dans la direction d'observation d'un utilisateur observant la cavité. Le substrat peut être rectangulaire, circulaire, circulaire avec une ouverture (par exemple un trou) dans la zone intérieure (par exemple au centre), ou présenter toute autre géométrie appropriée. Le substrat peut également fonctionner comme une électrode commune ou comme une électrode de commande.

[0252] Cependant, les électrodes communes et/ou de commande proposées dans la présente invention peuvent être constituées de métal (par exemple or ou chrome) ou d'un film conducteur transparent (TCF) tel que, par exemple, l'oxyde d'indium-étain (ITO). Les électrodes présentent une faible résistivité. Les électrodes n'ont pas tendance à fusionner et sont configurées pour ne pas former de fissures dans les conditions de fonctionnement prévues, en particulier sur la plage de températures de fonctionnement prévue. La couche diélectrique ne nécessite pas de trou de broche et est conforme.

[0253] Les connexions électriques aux électrodes sont positionnées à l'intérieur et à l'extérieur, et peuvent être réalisées comme à travers le verre via (TGV). Plusieurs connexions par électrode sont possibles. Les connecteurs appropriés pour établir une connexion sont les connecteurs Zebra, les connecteurs Flex ou les broches Pogo.

[0254] La couche diélectrique peut être monocouche ou multicouche, elle peut être en matériau organique ou en couche d'oxyde, et est sensiblement transparente. Le diélectrique peut être appliqué par dépôt physique en phase vapeur (PVD), dépôt moléculaire en phase vapeur (MVD), dépôt chimique en phase vapeur assisté par plasma (PE-CVD) ou dépôt en couche atomique (ALD).

[0255] Un revêtement phobique peut être appliqué sur la surface en contact avec les fluides. Le revêtement est un revêtement hydrophobe et oléophobe. En outre, le revêtement présente une faible hystérésis et est chimiquement stable dans la plage de températures décrite. Il est possible d'appliquer une structure sur le revêtement. Le revêtement est déposé par dépôt moléculaire en phase vapeur (MVD), trempage, rinçage, revêtement par centrifugation ou pulvérisation. Le revêtement déposé est d'épaisseur constante, homogène, sensiblement transparent et conforme. Les matériaux appropriés sont le fluoropolymère, le silane avec le fluoropolymère ou les chaînes alcaniques. Le revêtement peut éventuellement être durci, par exemple par un durcissement thermique ou un durcissement aux ultraviolets (durcissement UV).

[0256] L'assemblage de l'invention peut comprendre les opérations d'assemblage suivantes. La cavité est découpée en plaques de substrat au moyen d'un laser, d'un jet d'eau, d'un SACE ou d'une couture. Les plaques sont assemblées par soudage au laser, liaison anodique, liaison par fusion, collage ou soudage par ultrasons. L'assemblage des plaques nécessite une bonne adhérence entre les plaques, un faible retrait, une stabilité chimique, l'intégrité des sous-couches,

que le gonflement soit évité, que l'étanchéité soit assurée, que les bulles de gaz soient évitées. L'assemblage des plaques comprend, mais sans s'y limiter, l'assemblage de la plaque avec l'électrode commune et de la plaque avec l'électrode de commande. L'au moins une cavité, formée par les plaques assemblées, est amorcée au moyen d'un vide appliqué et d'une injection de microgouttelette active. Pendant l'amorçage, les plaques assemblées doivent être orientées de manière à éviter complètement les bulles de gaz. Après l'amorçage, une étape de scellement est appliquée. Une ouverture peut être scellée par collage, soudage au laser ou par insertion d'une vis ou d'un ajustement serré. De plus, lors du scellement, les bulles de gaz doivent être complètement évitées.

[0257] La détection de la position et/ou de la présence de l'un des fluides, mais en particulier du fluide actif, peut être réalisée par un procédé de détection capacitive tel que le temps de transmission/réponse (dans un circuit RC), la réponse impulsionnelle unitaire, ou l'intégration d'impulsions. Pour de tels principes capacitifs, un rapport signal/bruit élevé est requis. Le traitement du signal peut être effectué au moyen d'un circuit intégré spécifique à l'application (ASIC), de matrices de portes programmables (FPGA) ou d'une unité de traitement de signal numérique (DSP) conventionnelle.

[0258] La présente invention permet de commander les fluides et ainsi de générer une animation. Une gouttelette peut être déformée au moyen d'une mise en forme d'électrode ou par la forme du canal. Les gouttelettes peuvent être manipulées comme une gouttelette unique et individuelle, mais aussi comme un groupe de gouttelettes (plusieurs gouttelettes). Les gouttelettes peuvent en outre être fusionnées (fusion) et divisées (division). Les fluides (ainsi que les gouttelettes) peuvent être déplacés dans des réservoirs cachés. Un utilisateur peut initier sur demande une telle animation. Les fluides sont commandés au moyen de l'électronique et d'électrodes. L'électrode peut générer et appliquer aux électrodes des formes d'onde telles que CA, CA non sinusoïdal, CC et quasi CC, respectant ainsi les exigences liées aux interférences électromagnétiques. L'électronique peut être intégrée ou partiellement intégrée dans un circuit intégré spécifique à une application (ASIC), des matrices de portes programmables (FPGA) ou une unité de traitement de signal numérique (DSP) conventionnelle. L'électronique fournit un microcontrôleur, un dispositif de commande de synchronisation, un système de gestion de l'alimentation (par exemple pour commander l'élévateur CC/CC), des capacités de détection de gouttelettes, un dispositif de commande d'interface utilisateur et appliquer une tension aux électrodes et entraîner les gouttelettes. La stabilité des gouttelettes peut être commandée par l'application d'une basse tension, la réalisation d'une forme appropriée de la cavité et la sélection de liquides avec une densité correspondante, de sorte que les gouttelettes dans le système sont résistantes aux chocs et résistantes à la gravité et à toute autre force d'accélération.

[0259] Les matériaux utilisés pour la réalisation de la présente invention sont choisis pour être appropriés et conformes à la plage de températures de fonctionnement de l'invention. De tels matériaux sont par exemple les métaux, les polymères ou le verre, et en particulier le verre saphir. De même pour les structures utilisées pour la réalisation de la présente invention, de telles structures, comme par exemple des soufflets, des puces ou des membranes intrinsèques, sont configurées pour être appropriées et conformes à la plage de températures de fonctionnement de l'invention.

[0260] D'autres modes de réalisation sont représentés et décrits dans l'annexe ci-jointe, qui est incorporée ici dans cette description écrite.

[0261] Il doit être apprécié que les mises en œuvre particulières présentées et décrites ici sont représentatives de l'invention et de son meilleur mode et ne sont pas destinées à limiter la portée de la présente invention de quelque manière que ce soit. En outre, les lignes de connexion représentées sur les différentes figures contenues dans les présentes sont destinées à représenter des exemples de relations fonctionnelles et/ou de couplages physiques entre divers éléments. Il convient de noter que de nombreuses relations fonctionnelles ou connexions physiques alternatives ou supplémentaires peuvent être présentes dans un système pratique.

[0262] De plus, le système envisage l'utilisation, la vente et/ou la distribution de tout bien, service ou information ayant des fonctionnalités similaires décrites ici.

[0263] La description et les figures doivent être considérées à titre illustratif plutôt que restrictif et toutes les modifications décrites dans le présent document sont destinées à être incluses dans la portée de l'invention revendiquée, même si elles ne sont pas spécifiquement revendiquées lors du dépôt de la demande. En conséquence, la portée de l'invention devrait être déterminée par les revendications annexées ou ultérieurement modifiées ou ajoutées, et leurs équivalents juridiques plutôt que par les seuls exemples décrits ci-dessus. Par exemple, les étapes énumérées dans n'importe quel procédé ou processus peuvent être exécutées dans n'importe quel ordre et ne sont pas limitées à l'ordre spécifique présenté dans une quelconque revendication. En outre, les éléments et/ou composants cités dans n'importe quelle revendication de dispositif peuvent être assemblés ou autrement configurés de manière opérationnelle dans une variété de permutations pour produire sensiblement le même résultat que la présente invention. Par conséquent, l'invention n'est pas limitée à la configuration spécifique indiquée dans les revendications.

[0264] Les avantages, autres bénéfiques et solutions mentionnés dans le présent document ne doivent pas être interprétés comme des caractéristiques ou des composants critiques, requis ou essentiels de tout ou partie des revendications.

[0265] Tels qu'utilisés ici, les termes ζ comprend ζ , ζ comprenant ou toute variation de ceux-ci, sont destinés à faire référence à une liste non exclusive d'éléments, de sorte que tout processus, procédé, article, composition ou appareil de l'invention qui comprend une liste des éléments n'inclut pas seulement les éléments cités, mais peut également inclure d'autres éléments décrits dans cette description. L'utilisation du terme ζ consistant ζ ou ζ consistant en ζ ou ζ consistant

essentiellement en ζ n'est pas destinée à limiter la portée de l'invention aux éléments énumérés ci-après, sauf indication contraire. D'autres combinaisons et/ou modifications des éléments, matériaux ou structures décrits ci-dessus utilisés dans la pratique de la présente invention peuvent être modifiées ou autrement adaptées par l'homme du métier à une autre conception sans s'écarter des principes généraux de l'invention.

[0266] Les brevets et articles mentionnés ci-dessus sont incorporés par renvoi aux présentes, sauf indication contraire, dans la mesure où ils ne sont pas incompatibles avec la présente divulgation.

[0267] D'autres caractéristiques et modes d'exécution de l'invention sont décrits dans les revendications annexées.

[0268] En outre, l'invention doit être considérée comme comprenant toutes les combinaisons possibles de chaque caractéristique décrite dans la présente description, les revendications annexées et/ou les figures d'illustration qui peuvent être considérées comme nouvelles, inventives et applicables industriellement.

[0269] De multiples variations et modifications sont possibles dans les modes de réalisation de l'invention décrits ici. Bien que certains modes de réalisation illustratifs de l'invention aient été représentés et décrits ici, un grand nombre de modifications, changements et substitutions sont envisagés dans la divulgation précédente. Par exemple, ces indicateurs peuvent être utilisés comme indicateurs de vitesse ou de régime dans les véhicules. De plus, ces indicateurs peuvent être utilisés pour indiquer la température corporelle ou d'autres paramètres, comme la fréquence cardiaque dans le sport, ou dans des indicateurs utilisés dans des dispositifs médicaux ou des équipements de diagnostic. Bien que la description ci-dessus contienne de nombreuses spécificités, celles-ci ne doivent pas être interprétées comme des limitations de la portée de l'invention, mais plutôt comme des exemples de l'un ou de l'autre mode de réalisation préféré de celle-ci. Dans certains cas, certaines caractéristiques de la présente invention peuvent être utilisées sans utilisation correspondante des autres caractéristiques. Par conséquent, il convient que la description précédente soit interprétée au sens large et comprise comme étant donnée uniquement à titre d'illustration et d'exemple, l'esprit et la portée de l'invention n'étant limités que par les revendications qui délivrent finalement la présente demande.

[0270] Le brevet américain n° 5,050,612, de Matsumura et la publication de demande de brevet américain US 2007/0249916 A1, de Pesach et al, sont incorporés par renvoi aux présentes.

Revendications

1. Dispositif (212, 218) d'affichage de fluideique comprenant au moins deux fluides (205, 213, 214, 219, 224, 228), dans lequel au moins deux de ces au moins deux fluides sont non miscibles, dans lequel au moins une portion d'un des deux fluides est située dans un espace où un champ électrique (225) peut être généré entre une électrode de commande (208, 220, 223, 229, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 236, 237) et une électrode commune (202), ladite portion de fluide étant déplacée par un changement de son comportement non mouillant en comportement mouillant par le champ électrique généré entre ladite électrode de commande et ladite électrode commune.
2. Dispositif selon la revendication 1 comprenant un canal ou un réservoir (226) renfermant le premier (205, 213, 214, 219, 224, 228) et le second fluide non miscible, une portion du premier fluide étant située dans le champ électrique (225) généré par une électrode commune (202) et une première électrode de commande (208, 220, 223, 229, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 236, 237) et partiellement dans le champ électrique généré par la même électrode commune et une seconde électrode de commande qui est adjacente à la première électrode de commande, de sorte que l'activation électrique de la seconde électrode de commande génère une déformation ou un mouvement du premier fluide en direction de la seconde électrode de commande, tandis que le dispositif comprend une pluralité d'électrodes de commande supplémentaires, chaque électrode de commande supplémentaire est adjacente à une électrode de commande, chacune des électrodes de commande est agencée pour générer un champ électrique entre elle-même et la même électrode commune.
3. Dispositif selon la revendication 2, dans lequel le fluide déplacé est au moins une gouttelette de liquide.
4. Dispositif selon la revendication 2, dans lequel les fluides se déplacent le long d'un indice (217) pour indiquer une valeur mesurée.
5. Dispositif selon la revendication 2, dans lequel les électrodes de commande sont isolées des fluides par une couche diélectrique (206).
6. Dispositif selon la revendication 2, dans lequel l'électrode de référence est située en face de la surface des électrodes de commande et/ou de manière adjacente à celles-ci.
7. Dispositif selon la revendication 4, dans lequel des indices (217) sont interchangeable et permettent à l'utilisateur de personnaliser son dispositif (212).
8. Dispositif (212, 218) selon la revendication 7, dans lequel le premier fluide indique la valeur mesurée ou crée une forme esthétique, dans lequel le premier fluide est déplacé par un processus d'électromouillage.
9. Dispositif selon la revendication 8, dans lequel au moins une dite électrode de commande est d'une taille supérieure à 0,01 mm et suffisamment grande pour être vue par l'œil humain.

10. Dispositif selon la revendication 8 ou 9, dans lequel il existe des électrodes de commande servant à recueillir un fluide dans la forme de gouttelettes en les guidant sur la zone où les électrodes de commande forment la forme esthétique.
11. Dispositif (212, 218) selon la revendication 2, dans lequel les fluides (205, 213, 214, 219, 224, 228) sont disposés dans un réservoir (12, 12', 36', 36'') flexible.
12. Dispositif selon la revendication 1, dans lequel une pluralité d'électrodes de commande adjacentes (223) sont disposées de manière à pouvoir générer chacune un champ électrique (225) entre elle-même et l'électrode commune (202), ces électrodes étant alimentées en séquence de manière à déplacer la au moins une portion d'un des deux fluides (205, 213, 214, 219, 224, 228) du champ électrique (225) généré par une électrode de commande (208) vers le champ électrique généré par une électrode de commande adjacente (223).
13. Pièce d'horlogerie comprenant de un dispositif selon l'un des revendications 1 à 7 qui affiche le temps.
14. Procédé d'affichage par le dispositif selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'on effectue une séquence de sorte qu'une partie du fluide est déplacée à l'intérieur du dispositif par la commutation des électrodes de commande,
15. Procédé d'affichage selon la revendication 14 dans une séquence de sorte que la position du fluide par rapport aux électrodes de commande est détectée.
16. Procédé d'affichage par le dispositif selon la revendication 9 ou 10 de sorte que le premier fluide est déformé par les électrodes et le champ électromagnétique afin d'obtenir au moins une section fermée de l'autre fluide.
17. Procédé d'affichage selon la revendication 16 de sorte qu'une la gouttelette de fluide est séparée en deux gouttelettes ou plus (228).

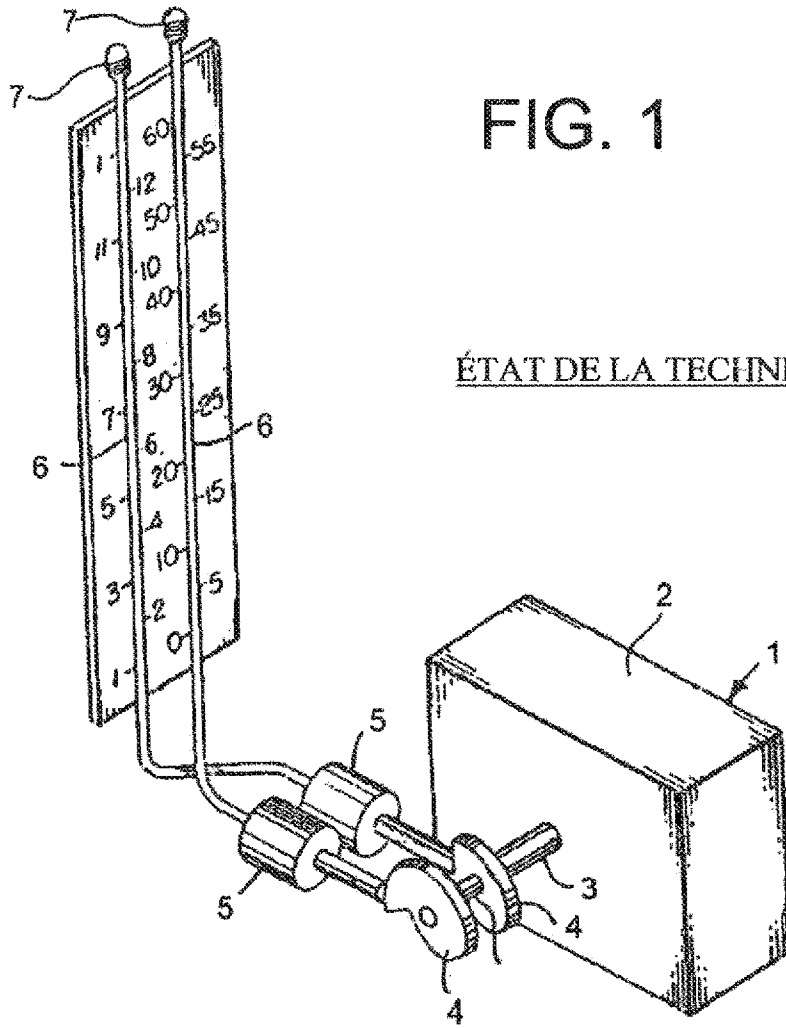


FIG. 1

ÉTAT DE LA TECHNIQUE

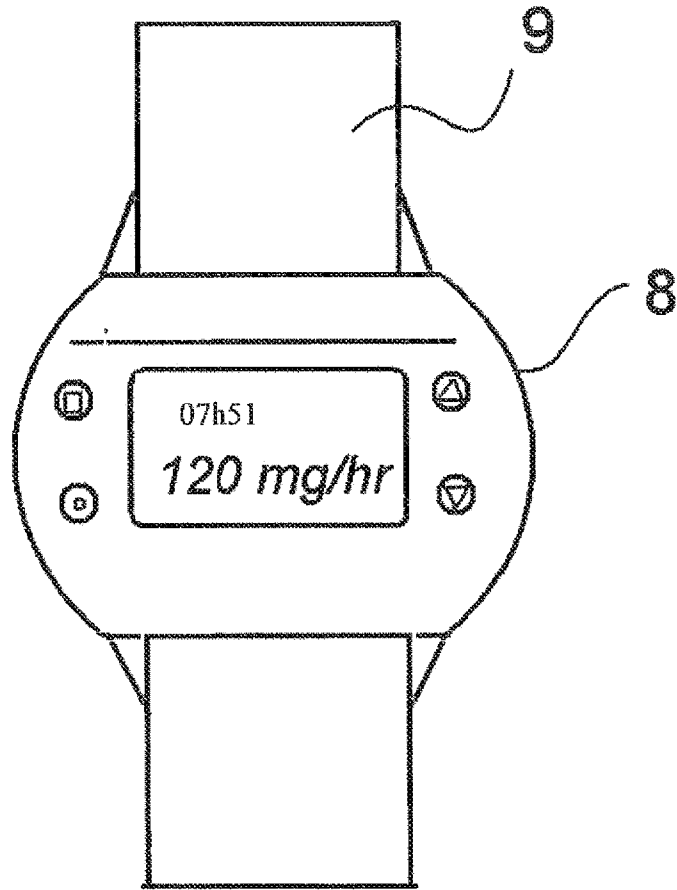


FIG. 2

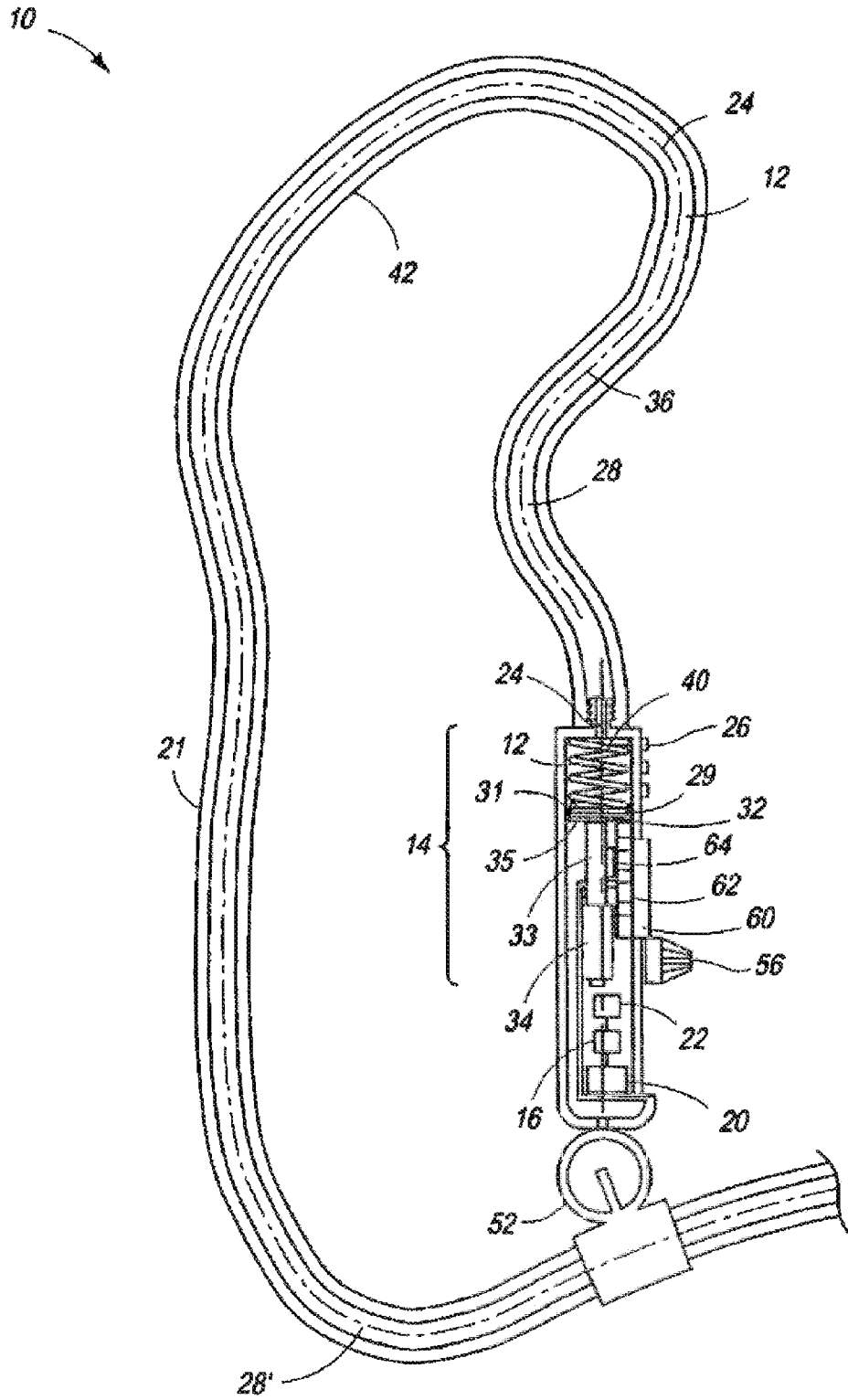


FIG. 3

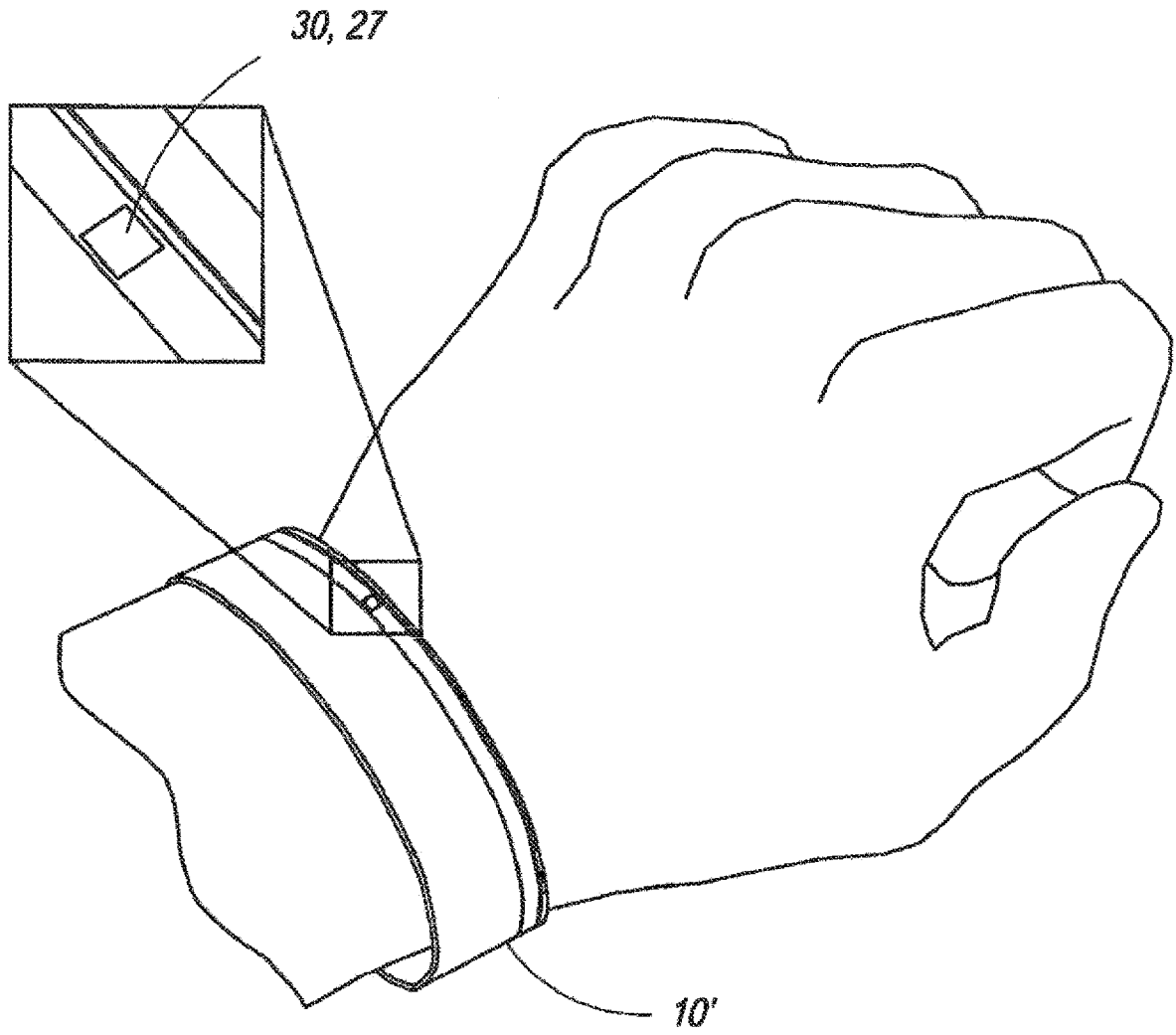


FIG. 4A

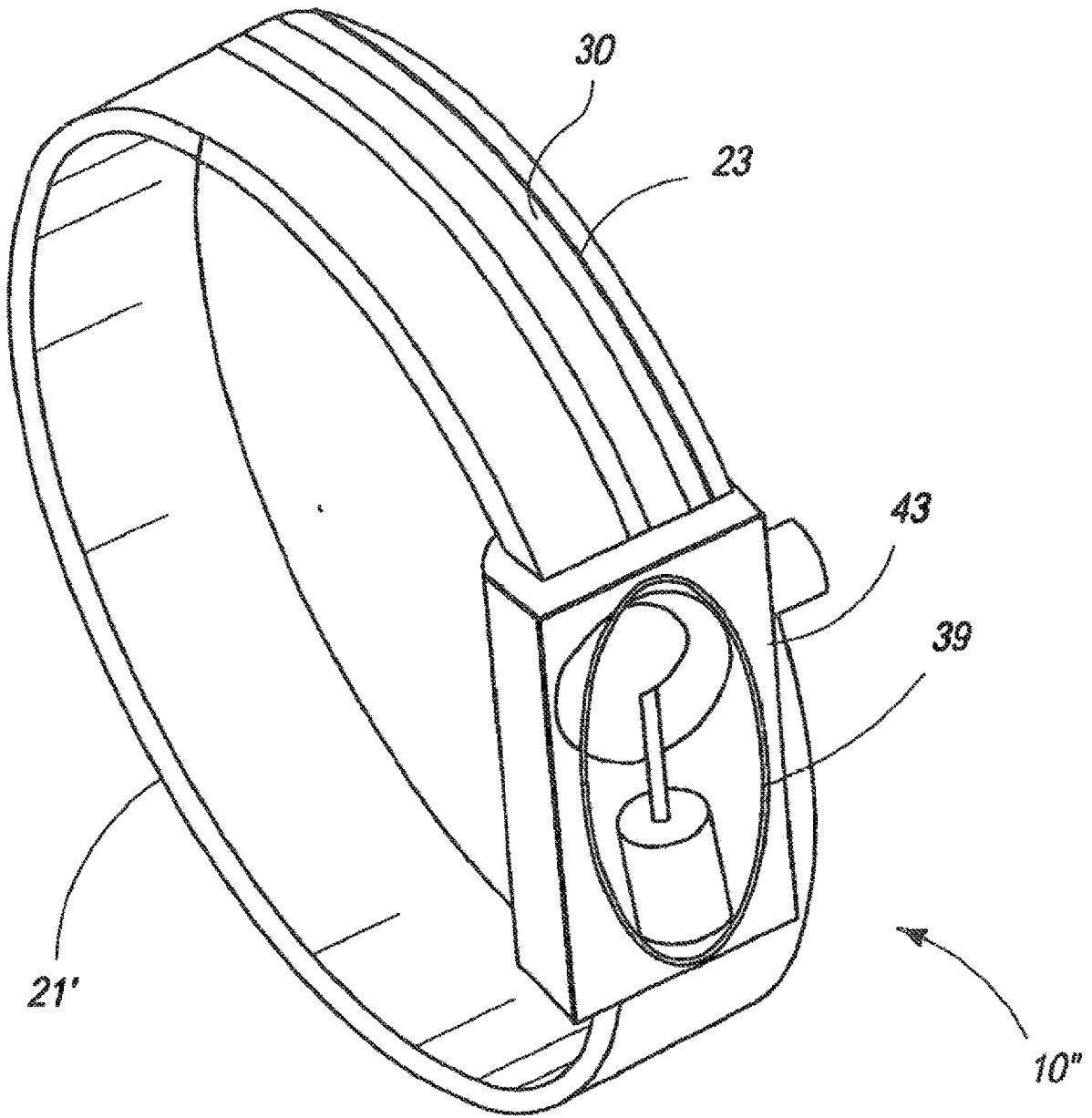


FIG. 4B

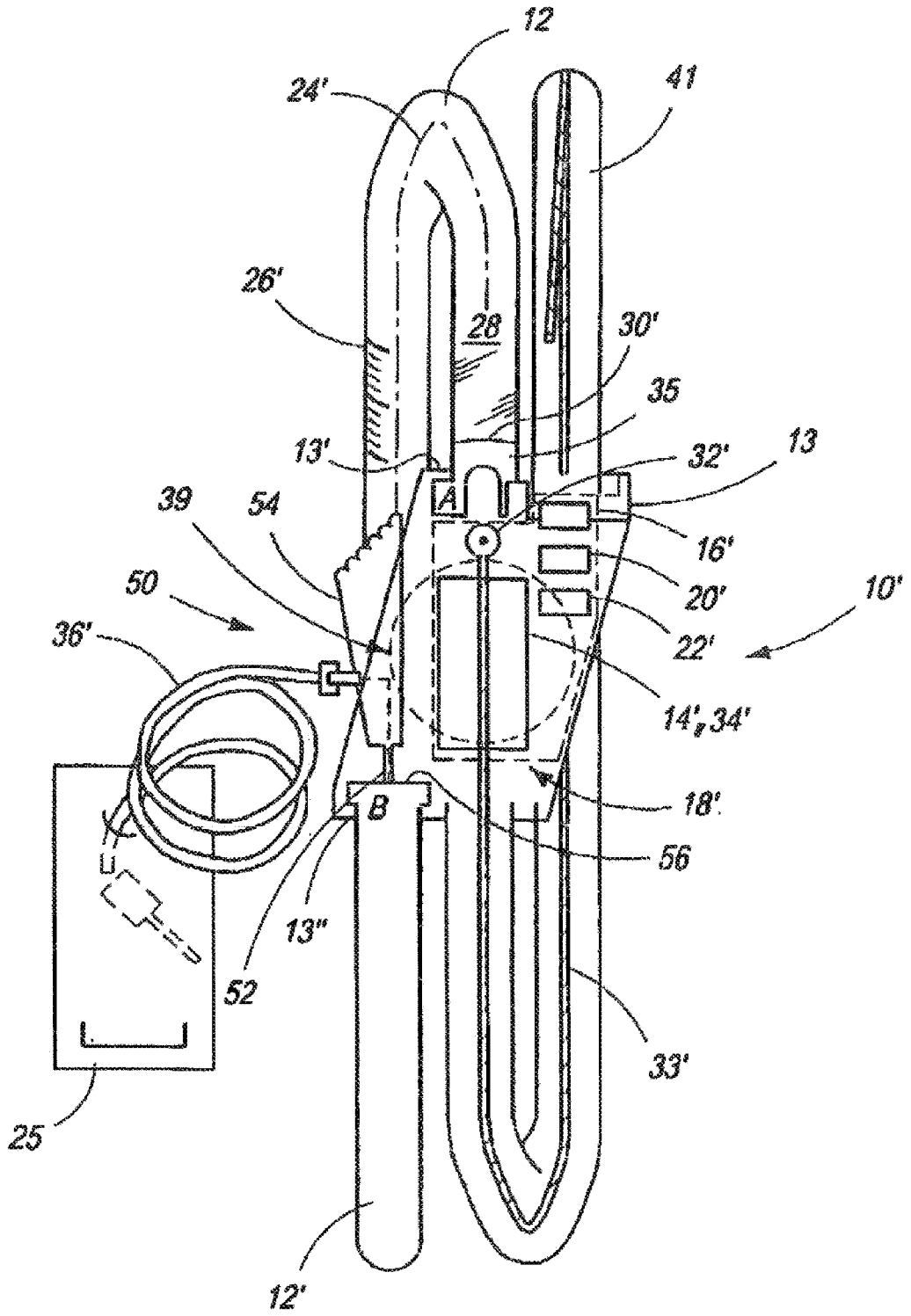


FIG. 5A

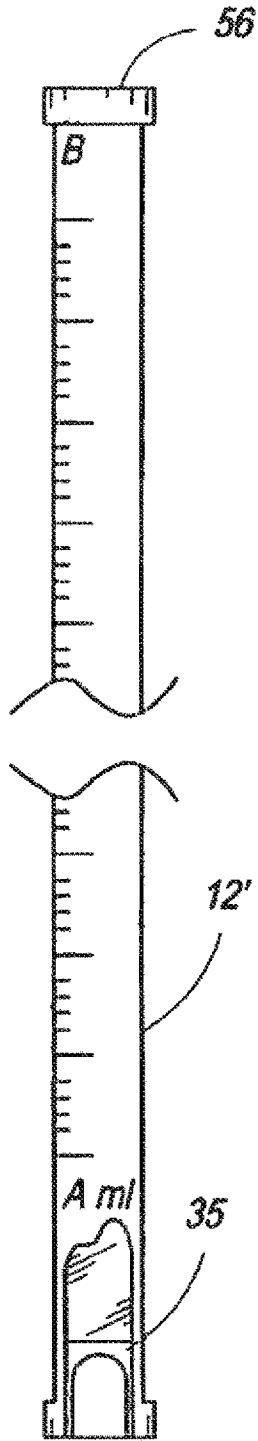


FIG. 5B

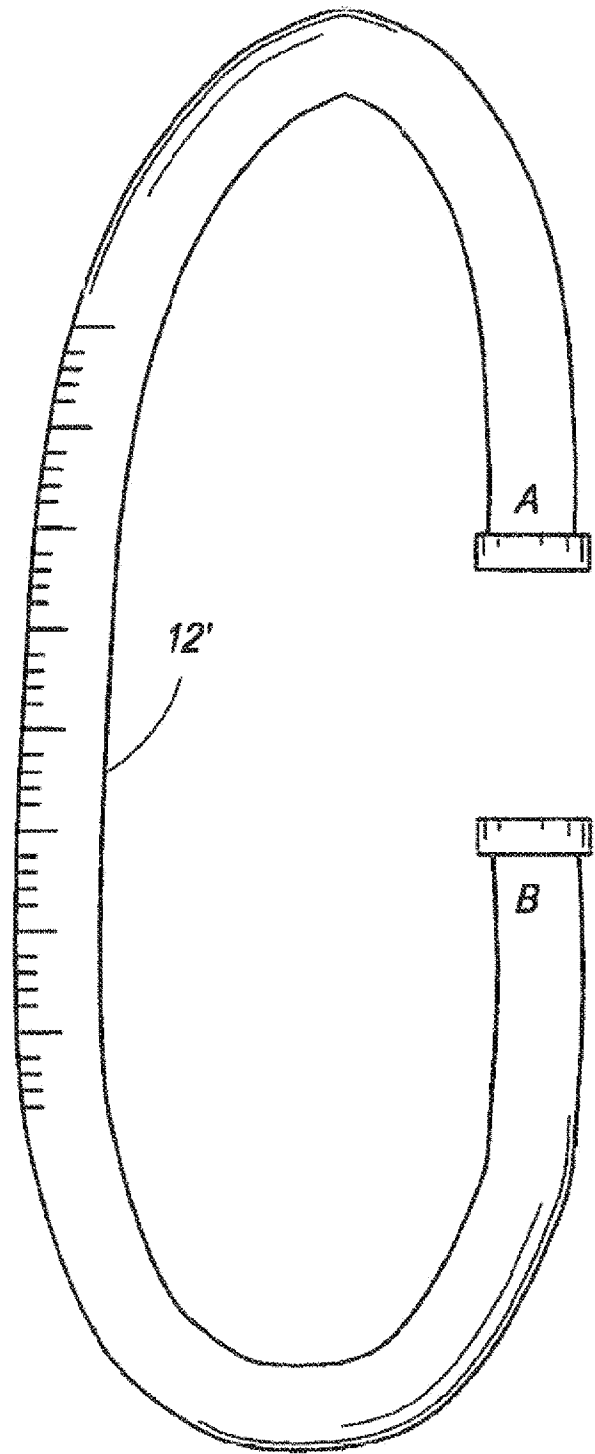


FIG. 5C

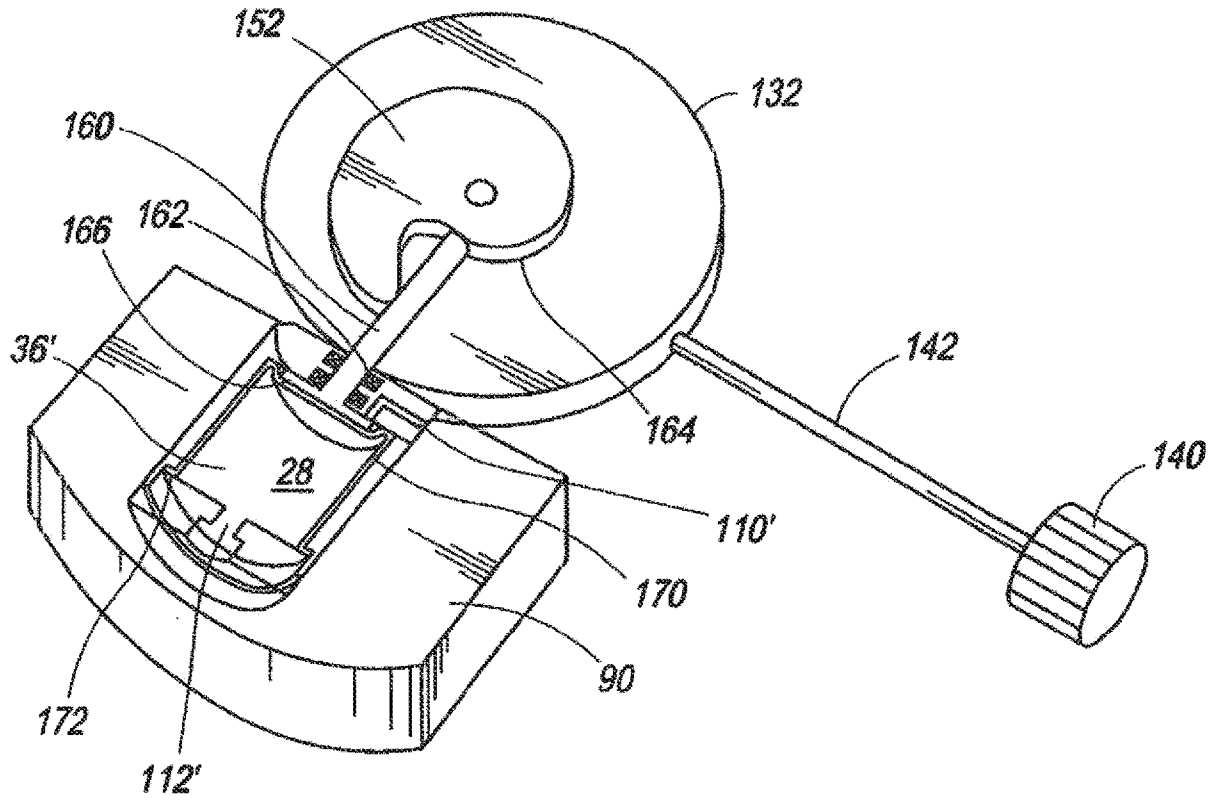


FIG. 6

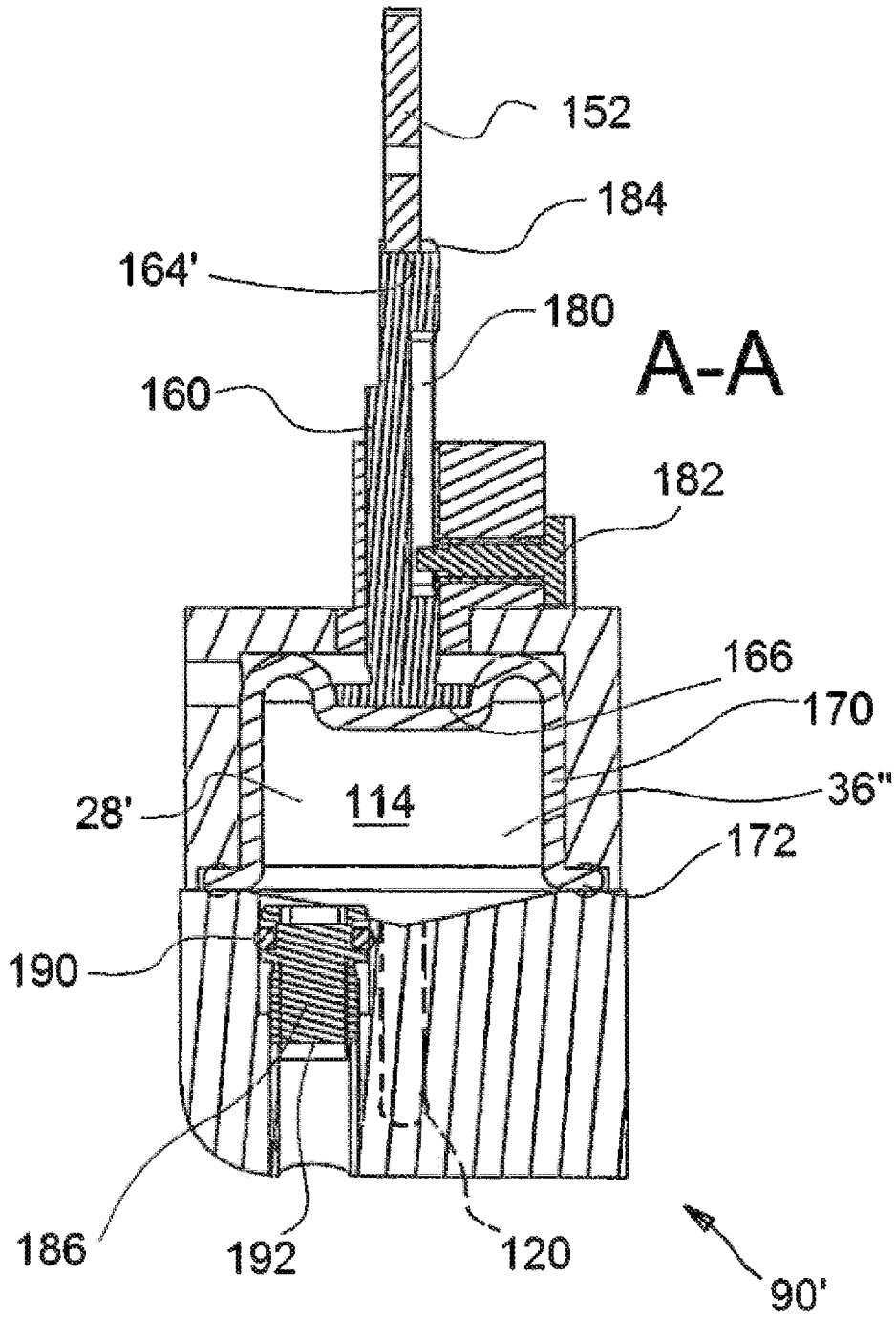


FIG. 7

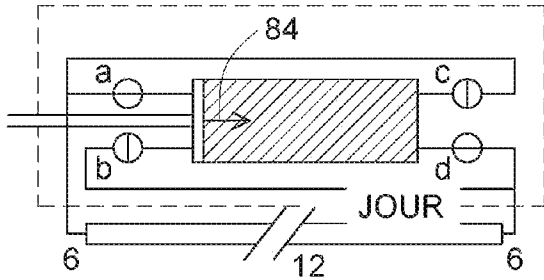


FIG. 8A

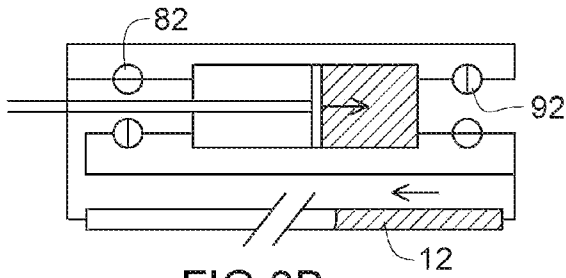


FIG. 8B

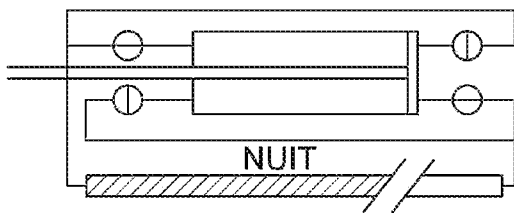


FIG. 8C

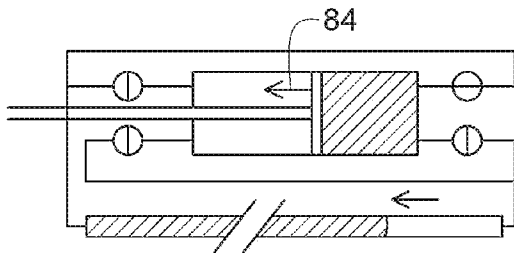


FIG. 8D

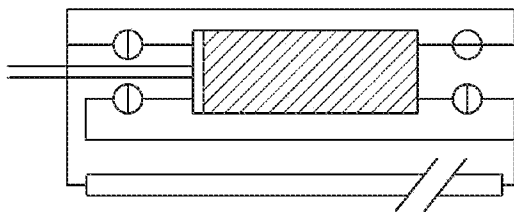


FIG. 8E

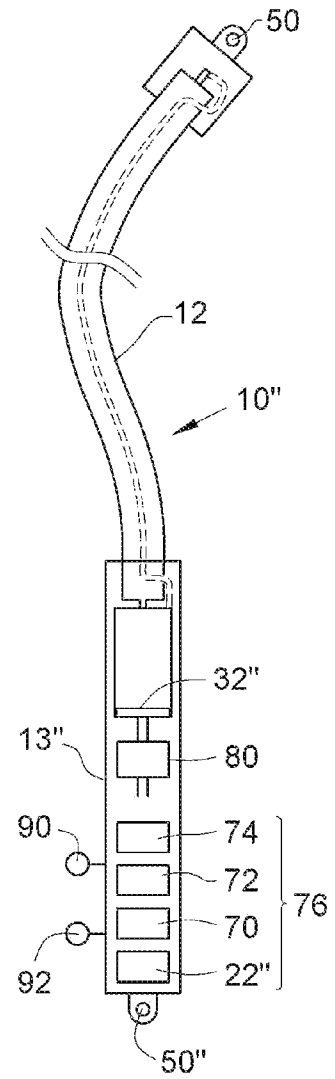


FIG. 8F

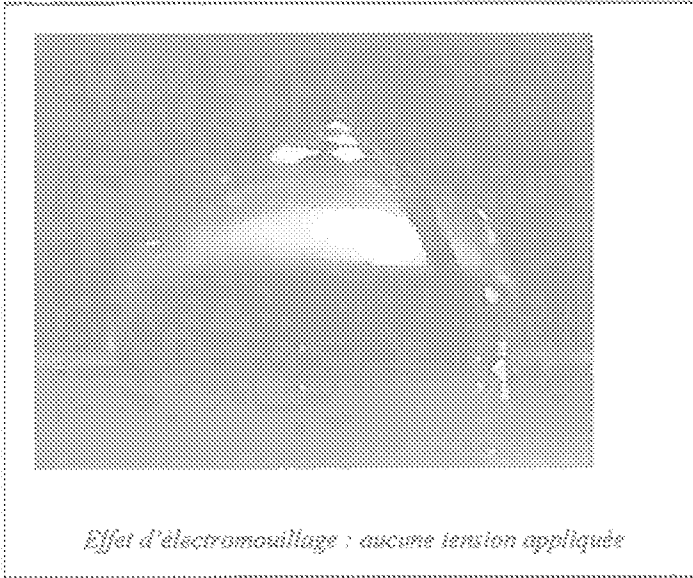


FIG. 9A

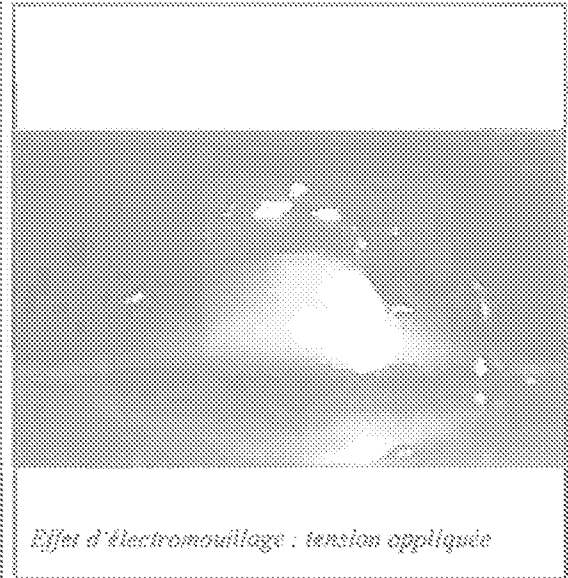


FIG. 9B

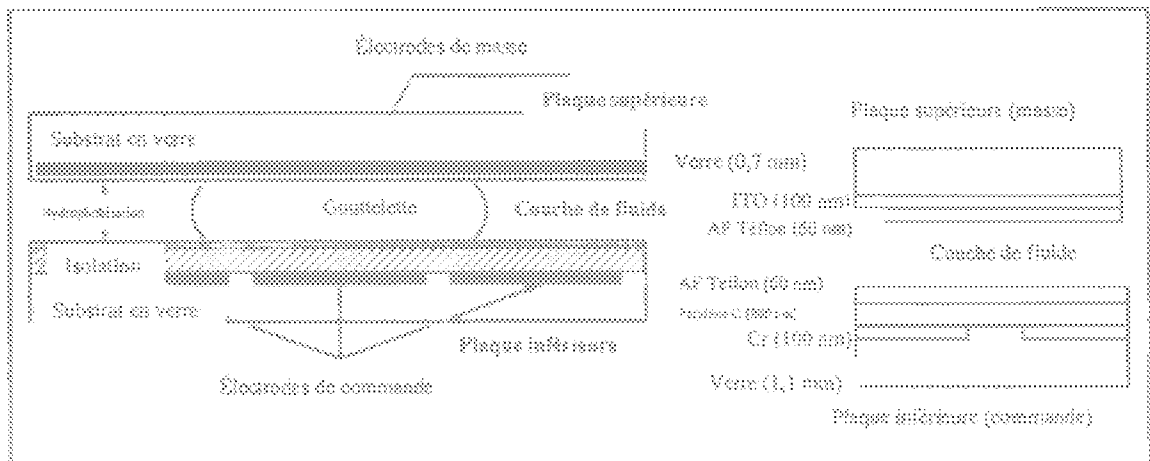


FIG. 10



FIG. 11A



FIG. 11B



FIG. 11C



FIG. 11D

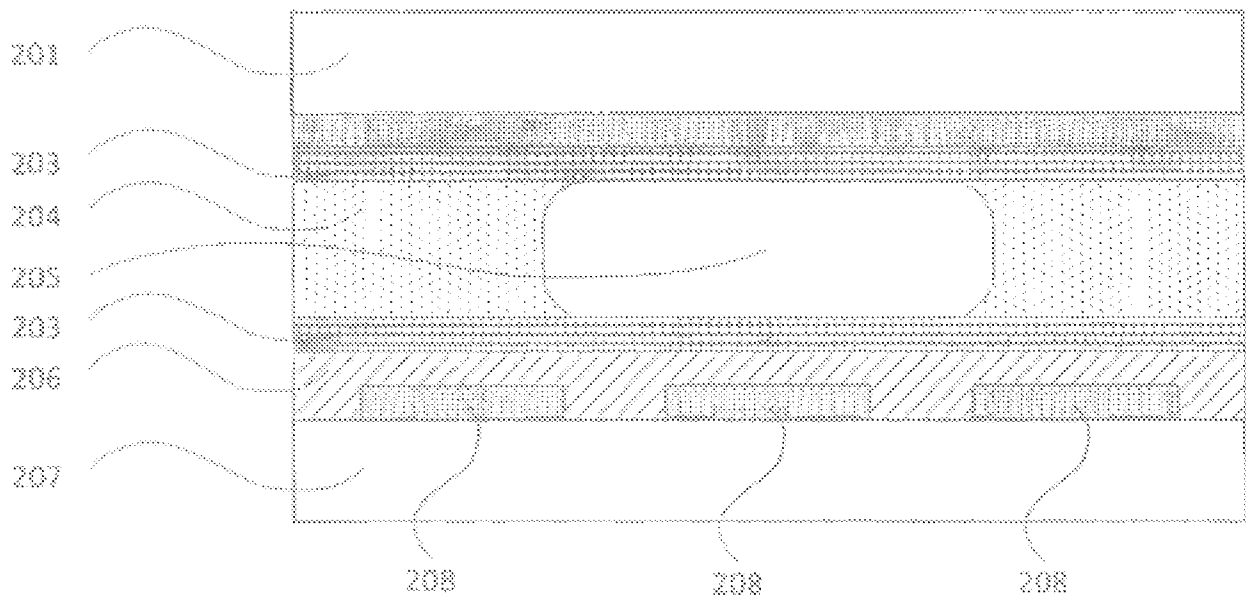


FIG. 12

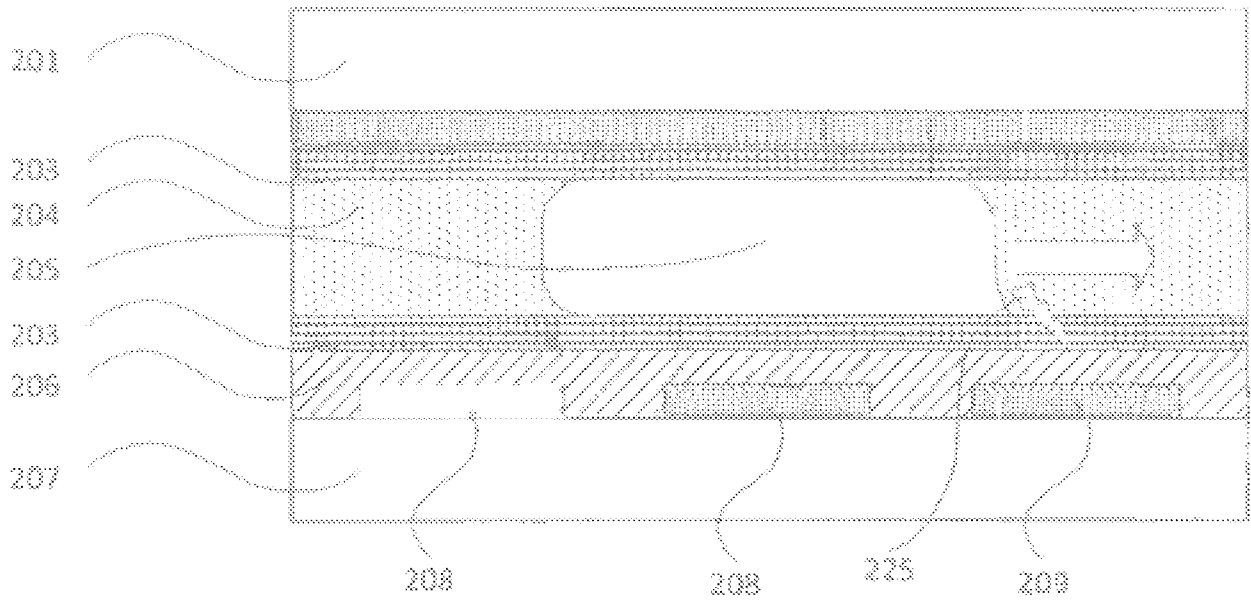


FIG. 13

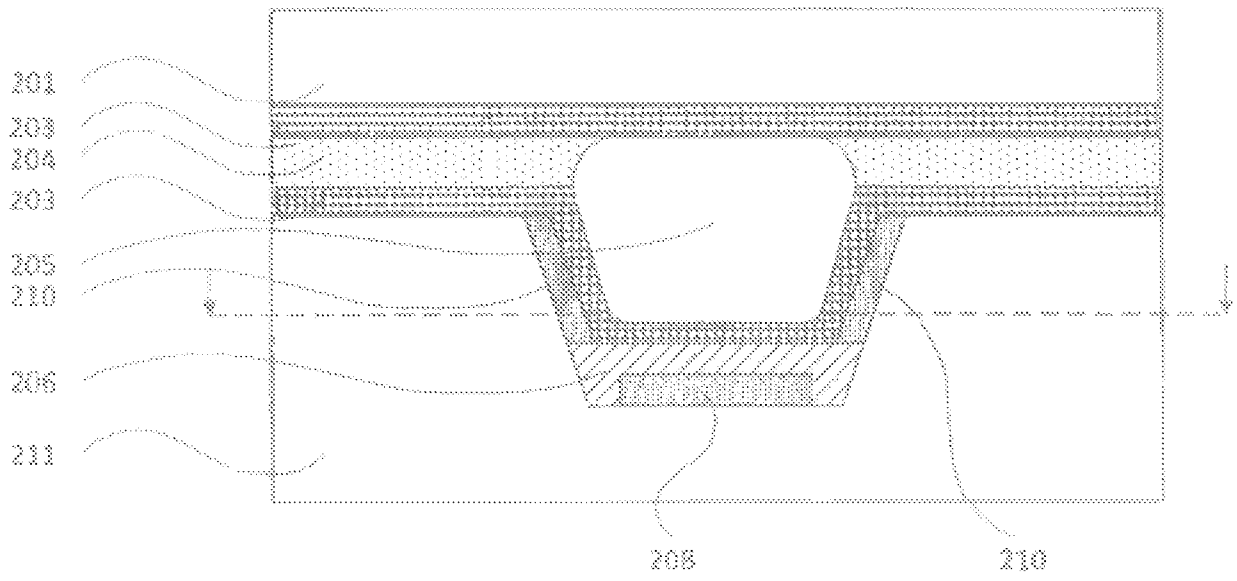


FIG. 14

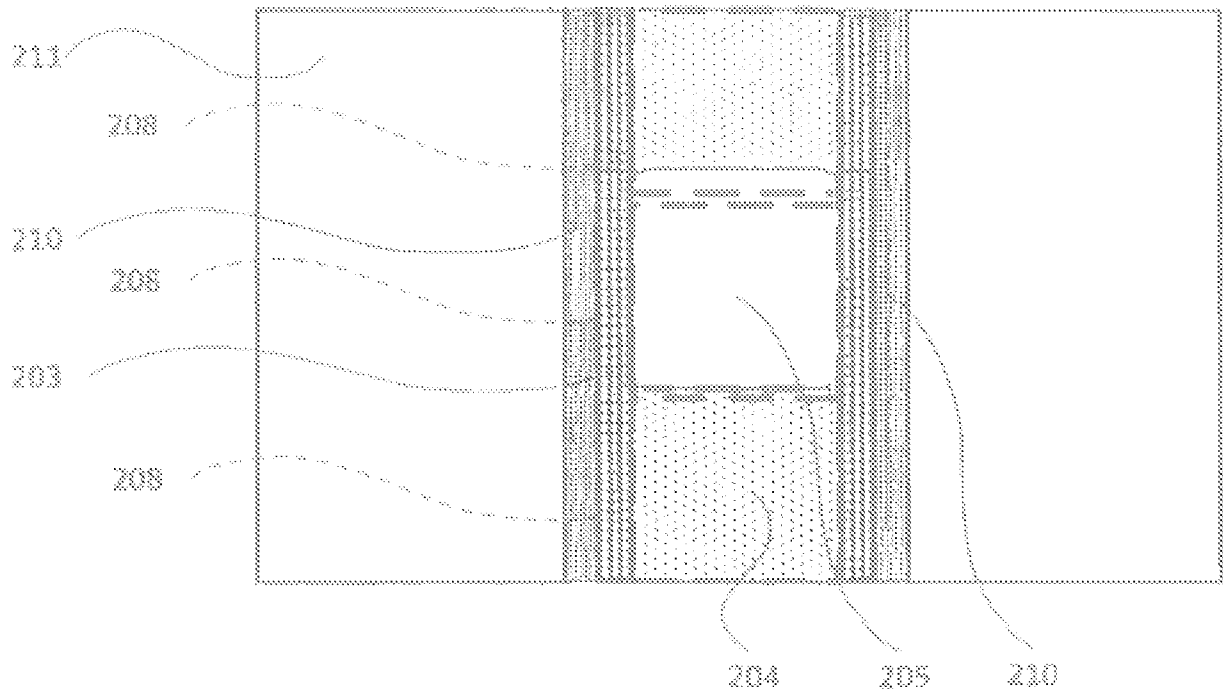


FIG. 15

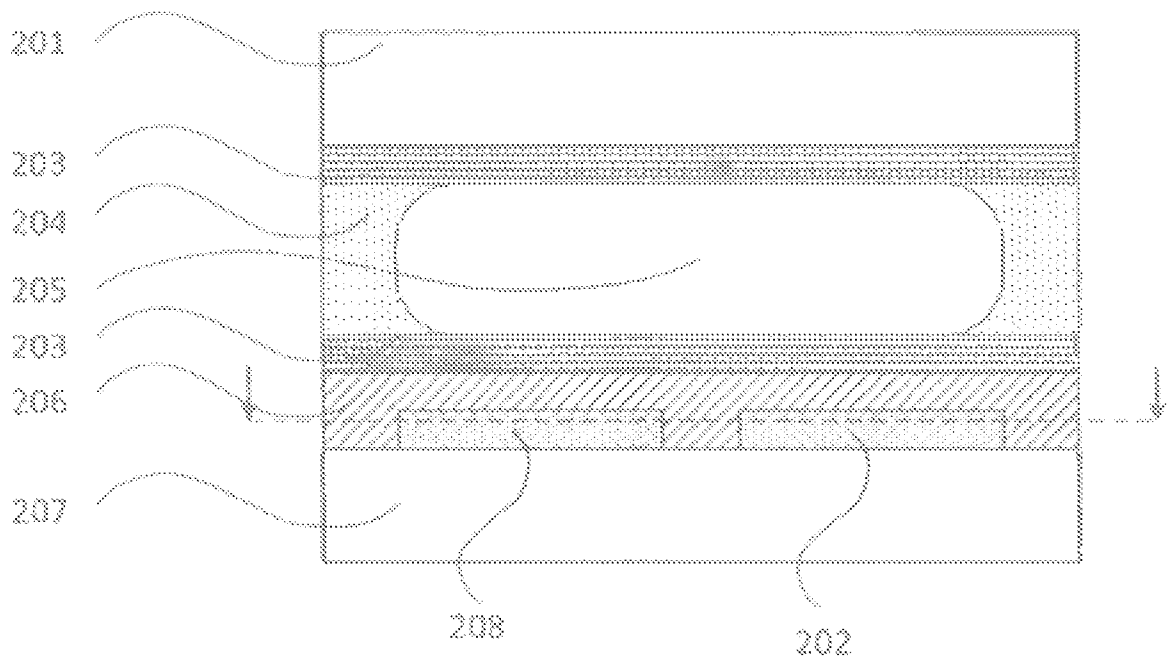


FIG. 16

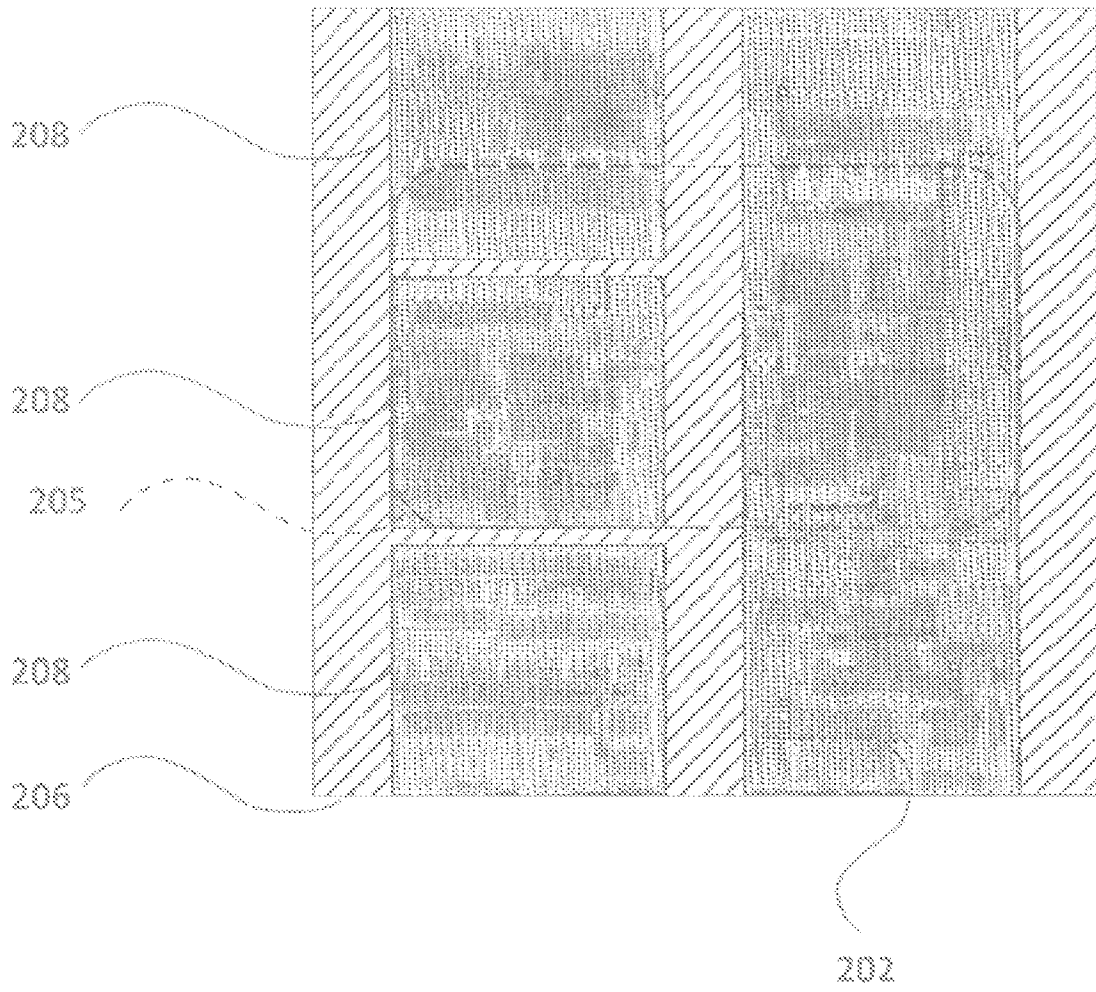


FIG. 17

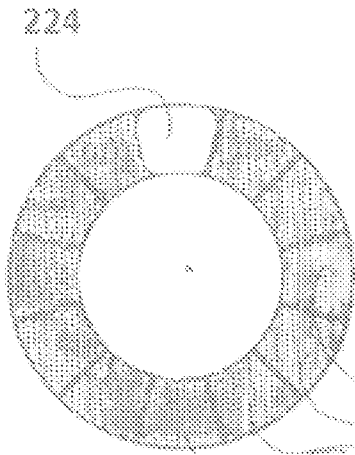


FIG. 18A

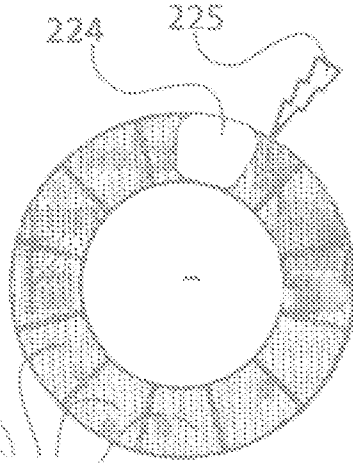


FIG. 18B

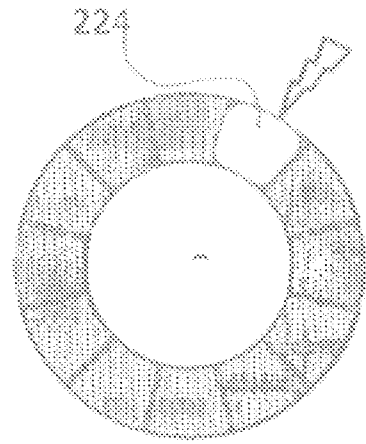


FIG. 18C

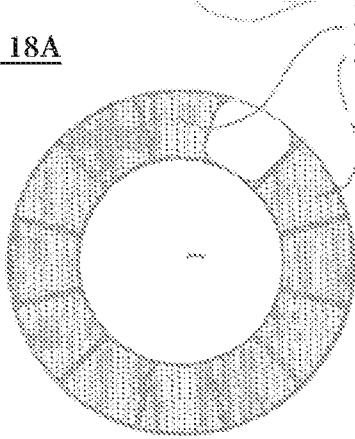


FIG. 18D

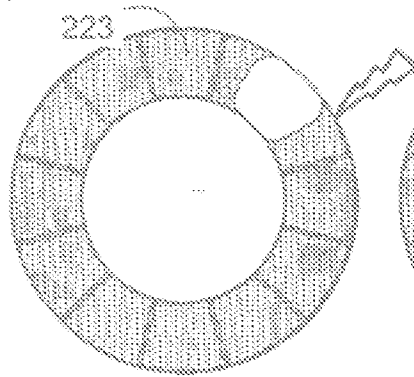


FIG. 18E

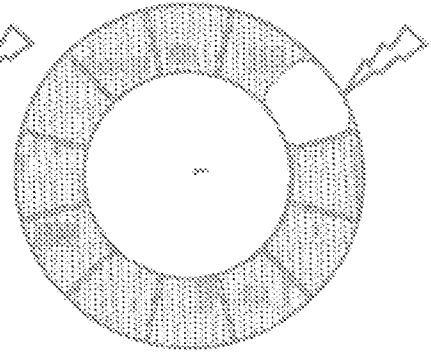


FIG. 18F

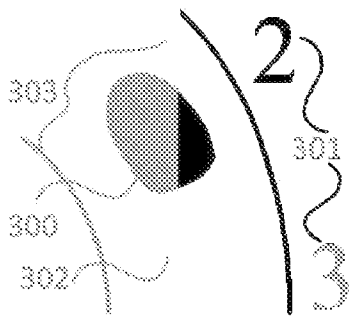


FIG. 18G

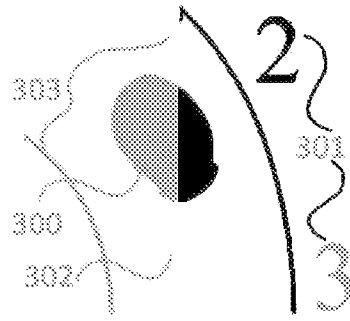


FIG. 18H

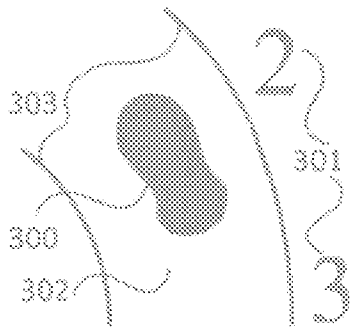


FIG. 18I

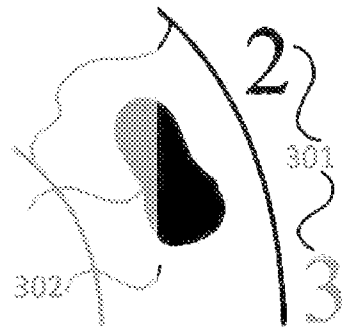


FIG. 18J

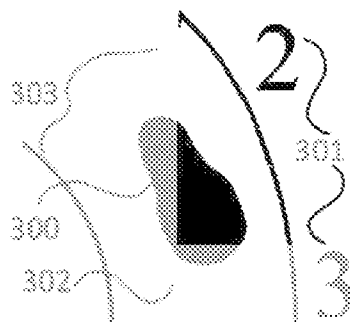


FIG. 18K

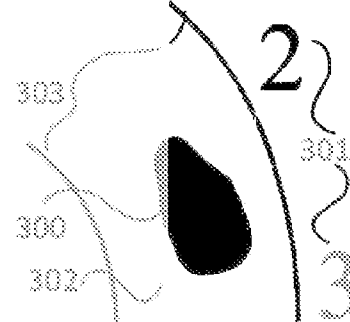


FIG. 18L

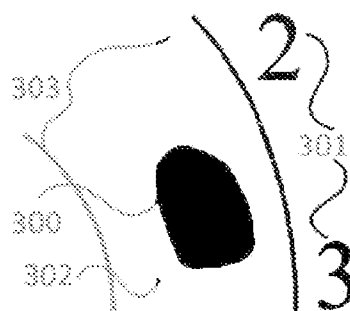


FIG. 18M

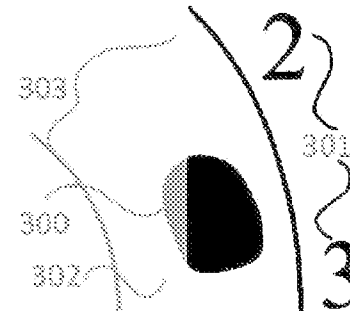


FIG. 18N

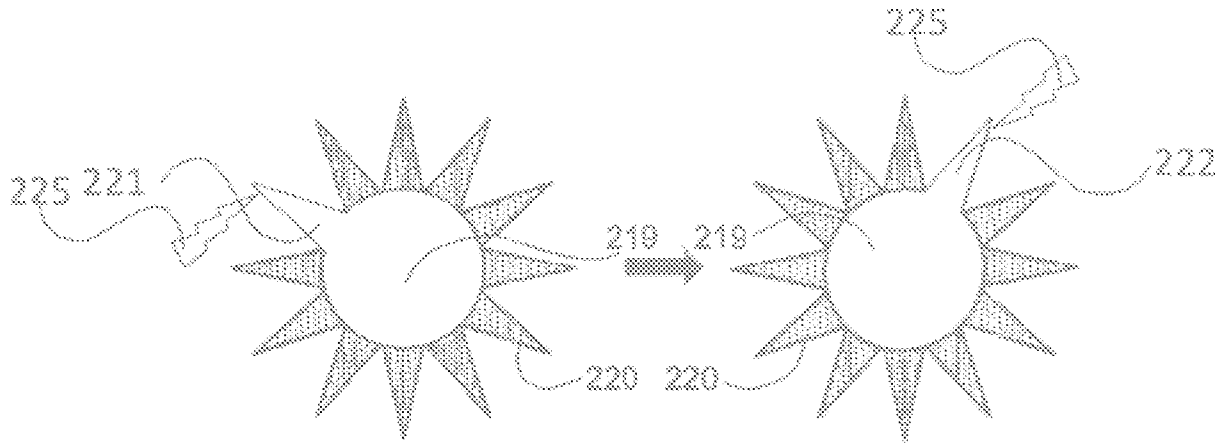


FIG. 19A

FIG. 19B

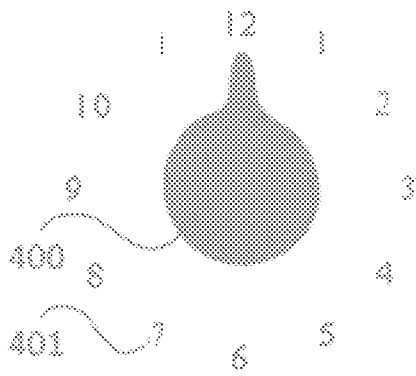


FIG. 19C

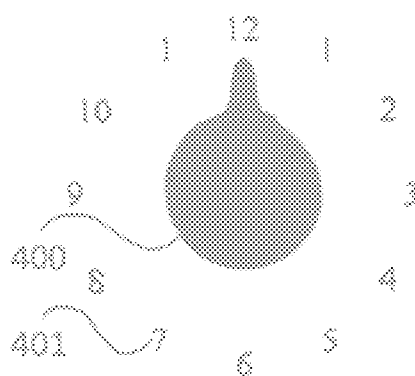


FIG. 19D

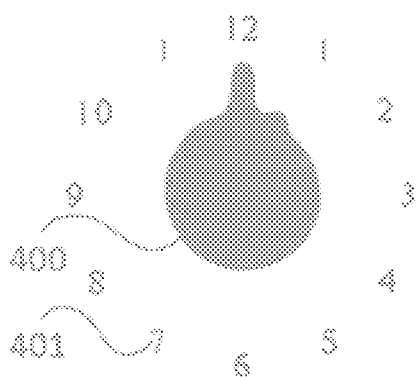


FIG. 19E

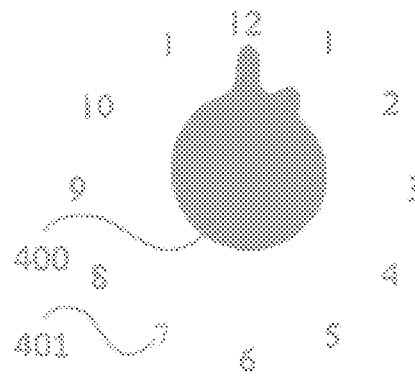


FIG. 19F

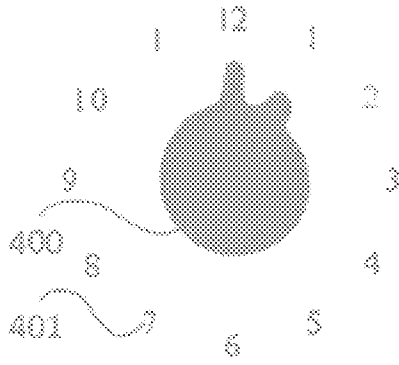


FIG. 19G

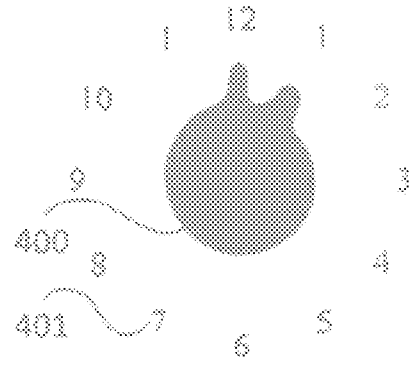


FIG. 19H

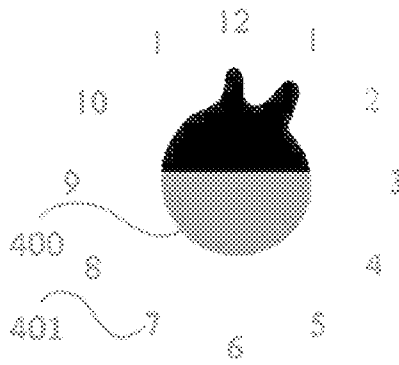


FIG. 19I

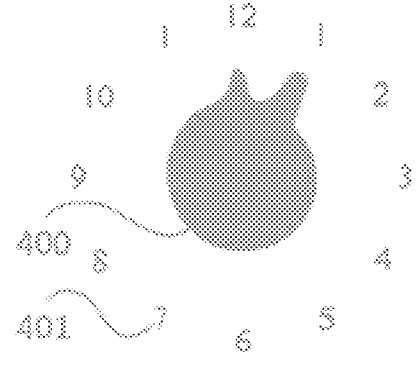


FIG. 19J

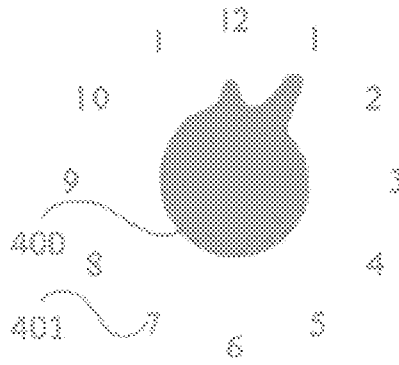


FIG. 19K

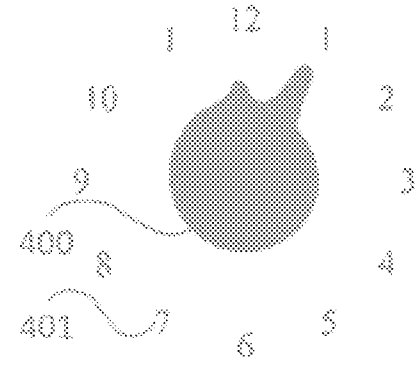


FIG. 19L

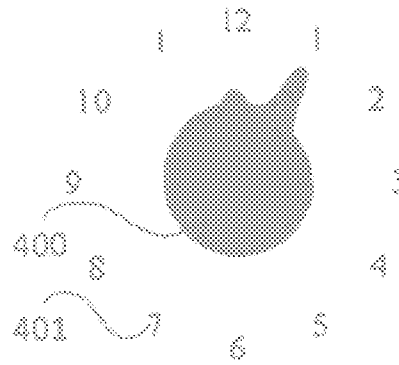


FIG. 19M

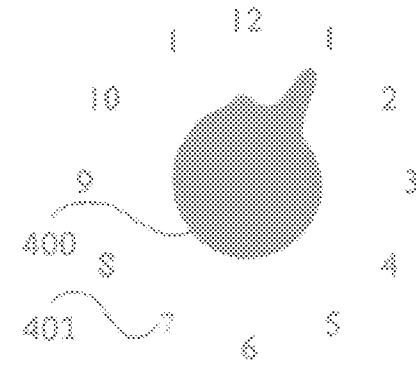


FIG. 19N

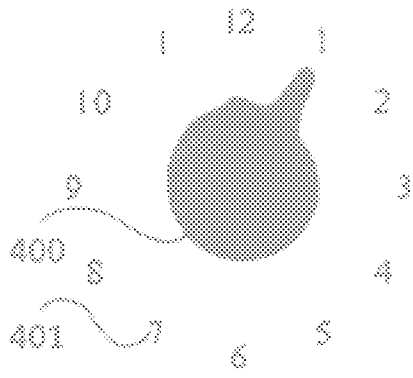


FIG. 19O

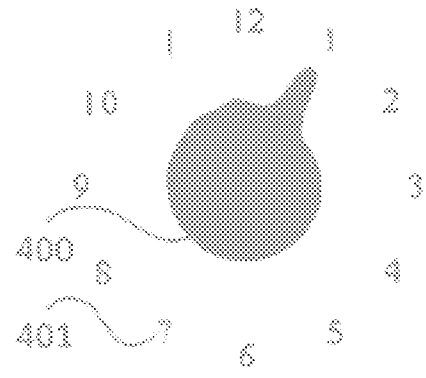


FIG. 19P

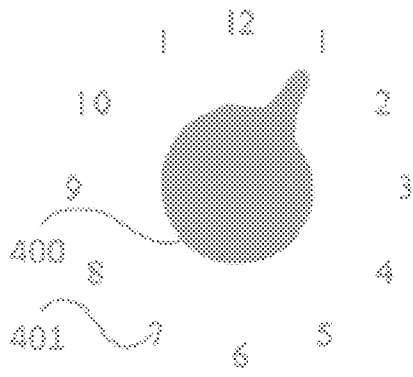


FIG. 19Q

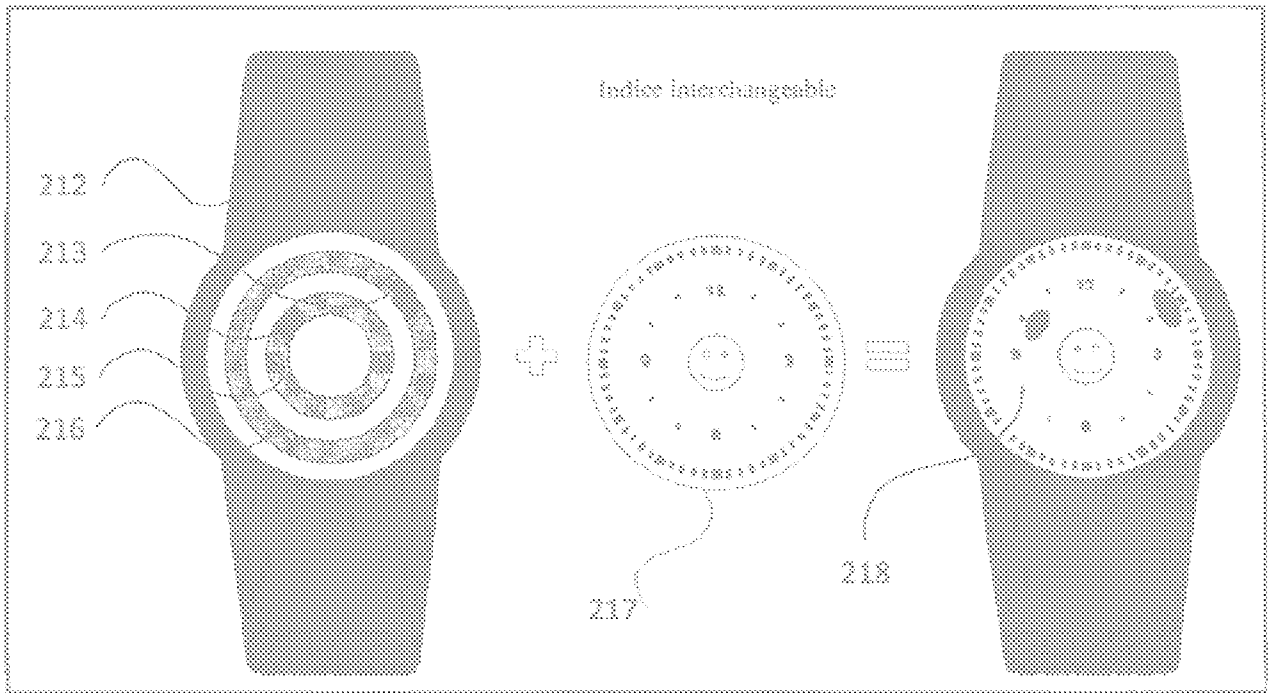


FIG. 20

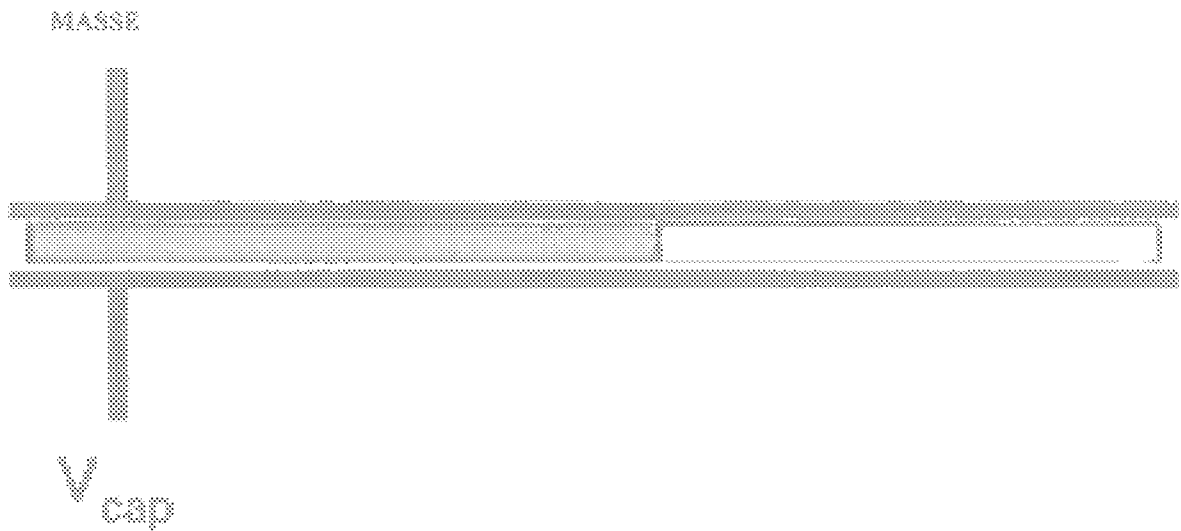


FIG. 21

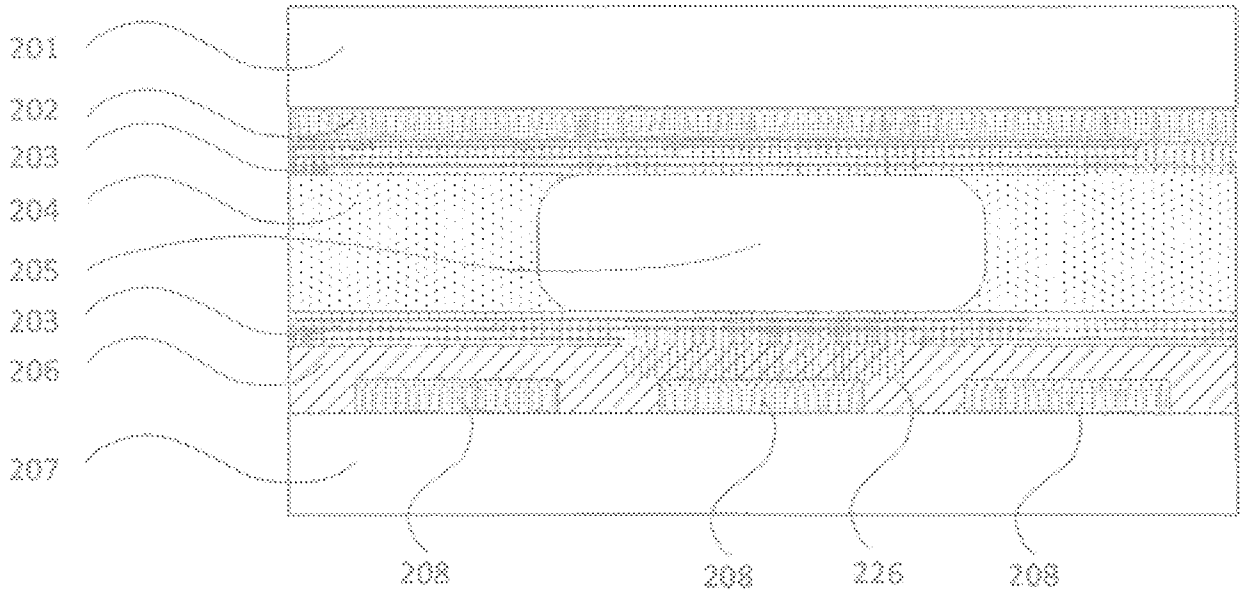


FIG. 22

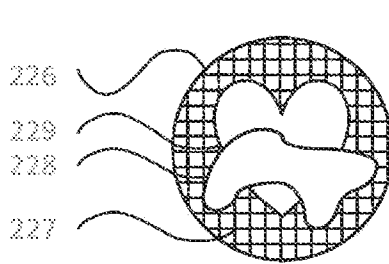


FIG. 23A

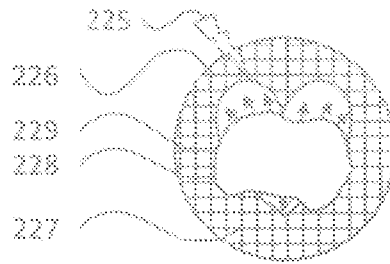


FIG. 23B

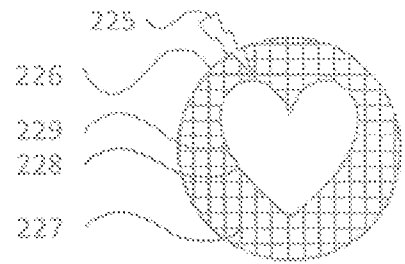


FIG. 23C

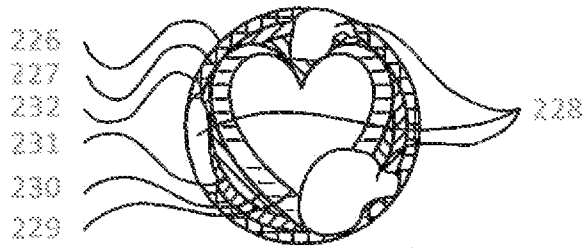


FIG. 24A

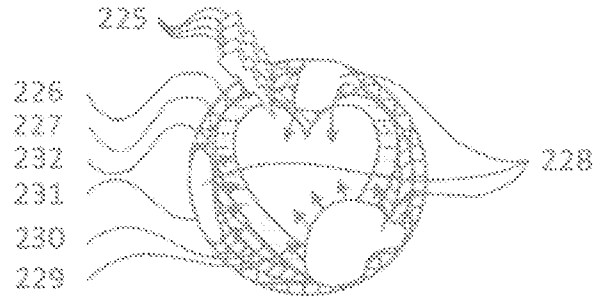


FIG. 24B

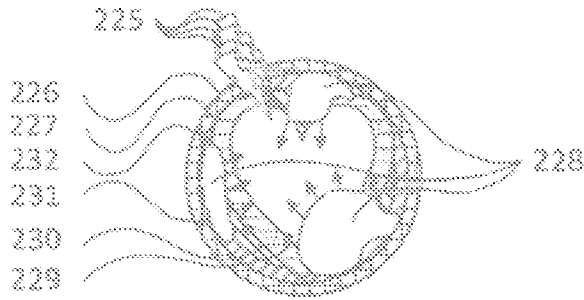


FIG. 24C

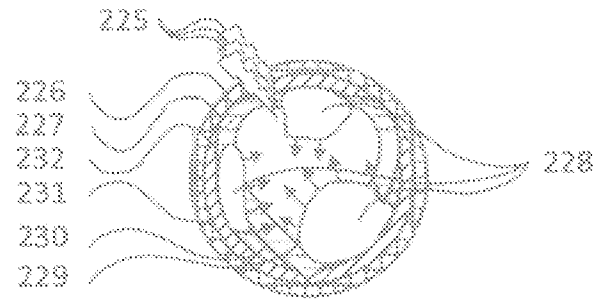


FIG. 24D

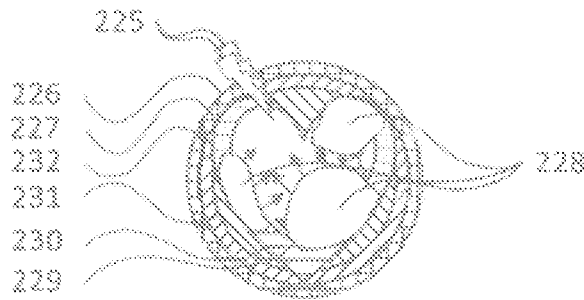


FIG. 24E

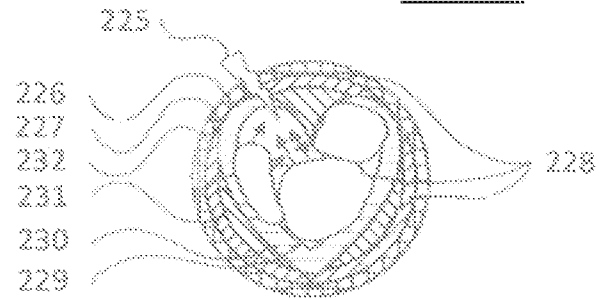


FIG. 24F

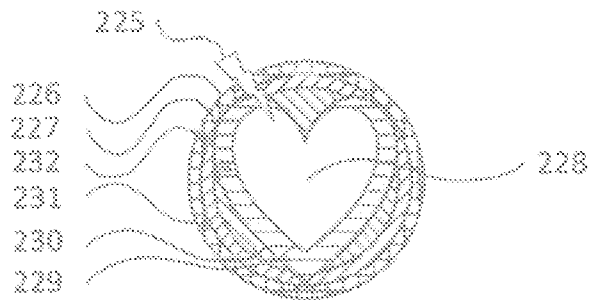


FIG. 24G

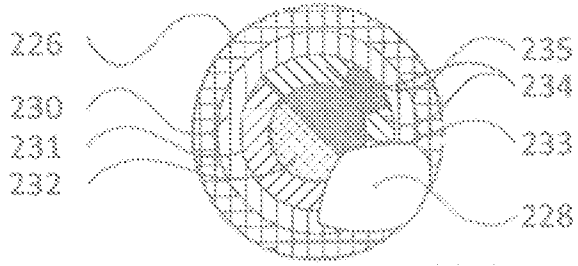


FIG. 25A

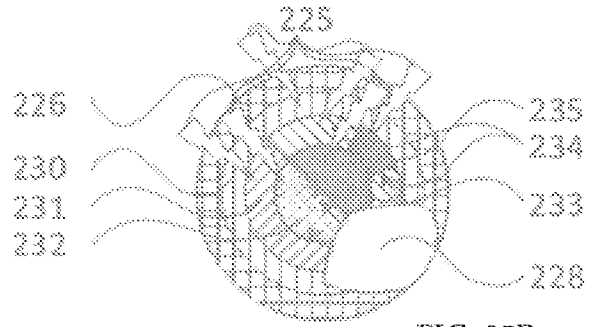


FIG. 25B

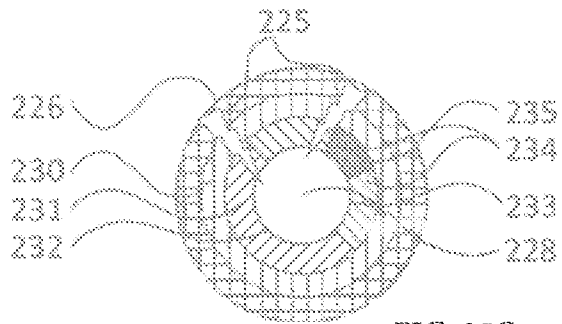


FIG. 25C

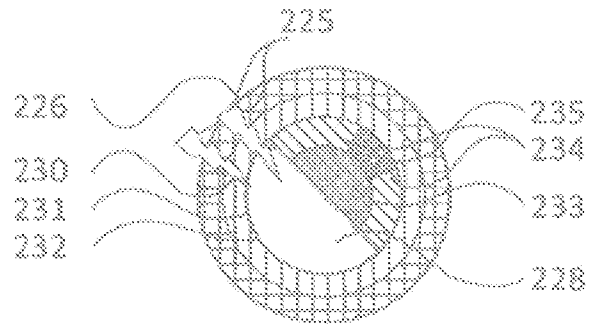


FIG. 25D

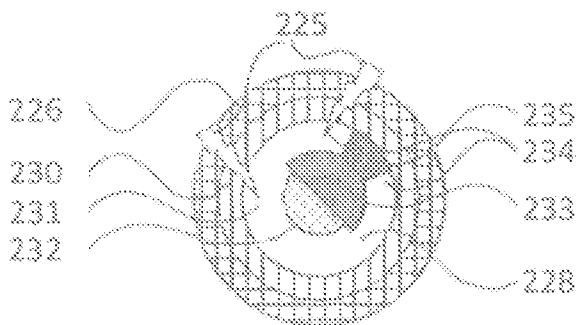


FIG. 25E

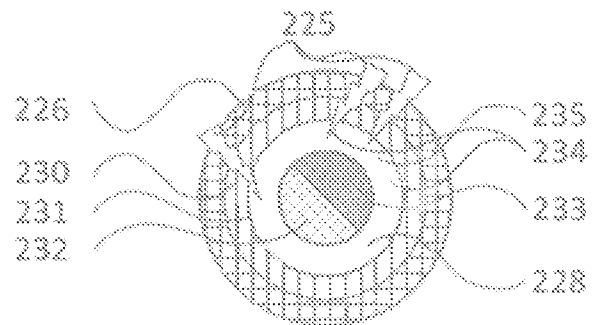


FIG. 25F

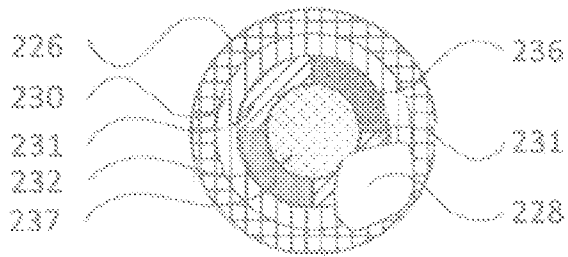


FIG. 26A

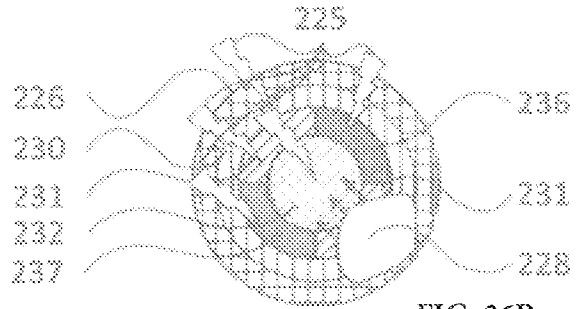


FIG. 26B

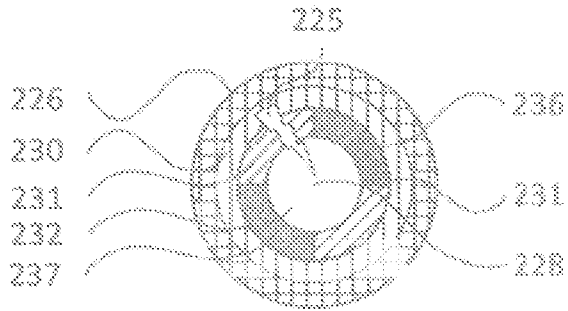


FIG. 26C

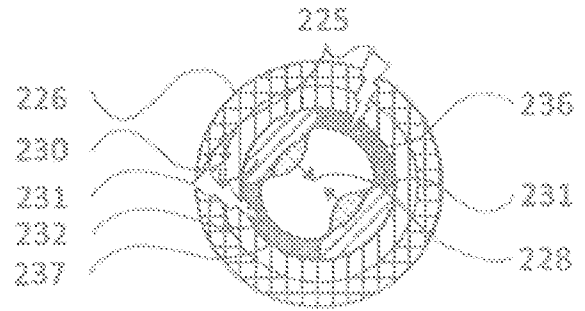


FIG. 26D

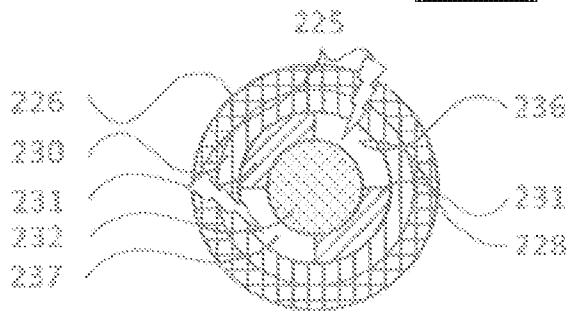


FIG. 26E

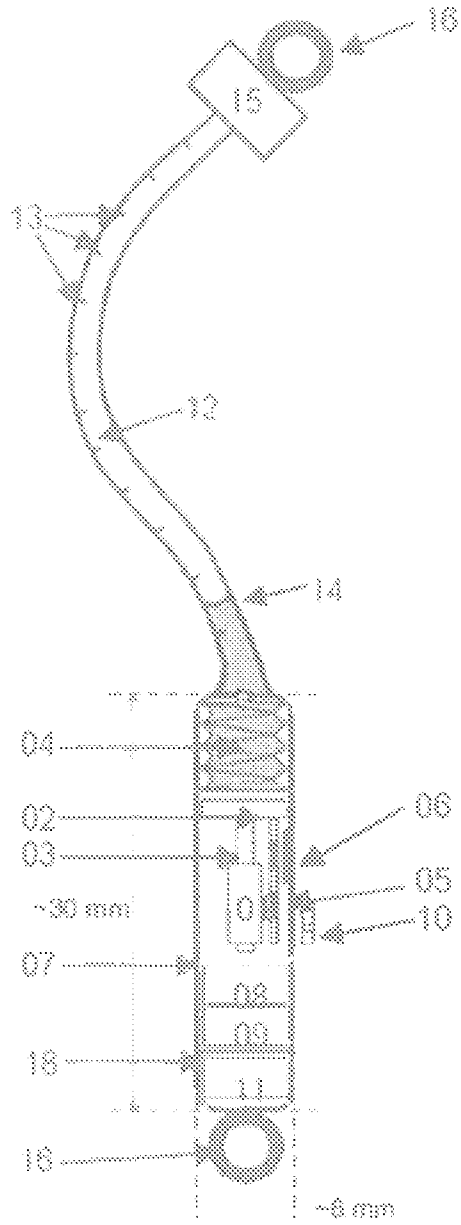


FIG. 27A

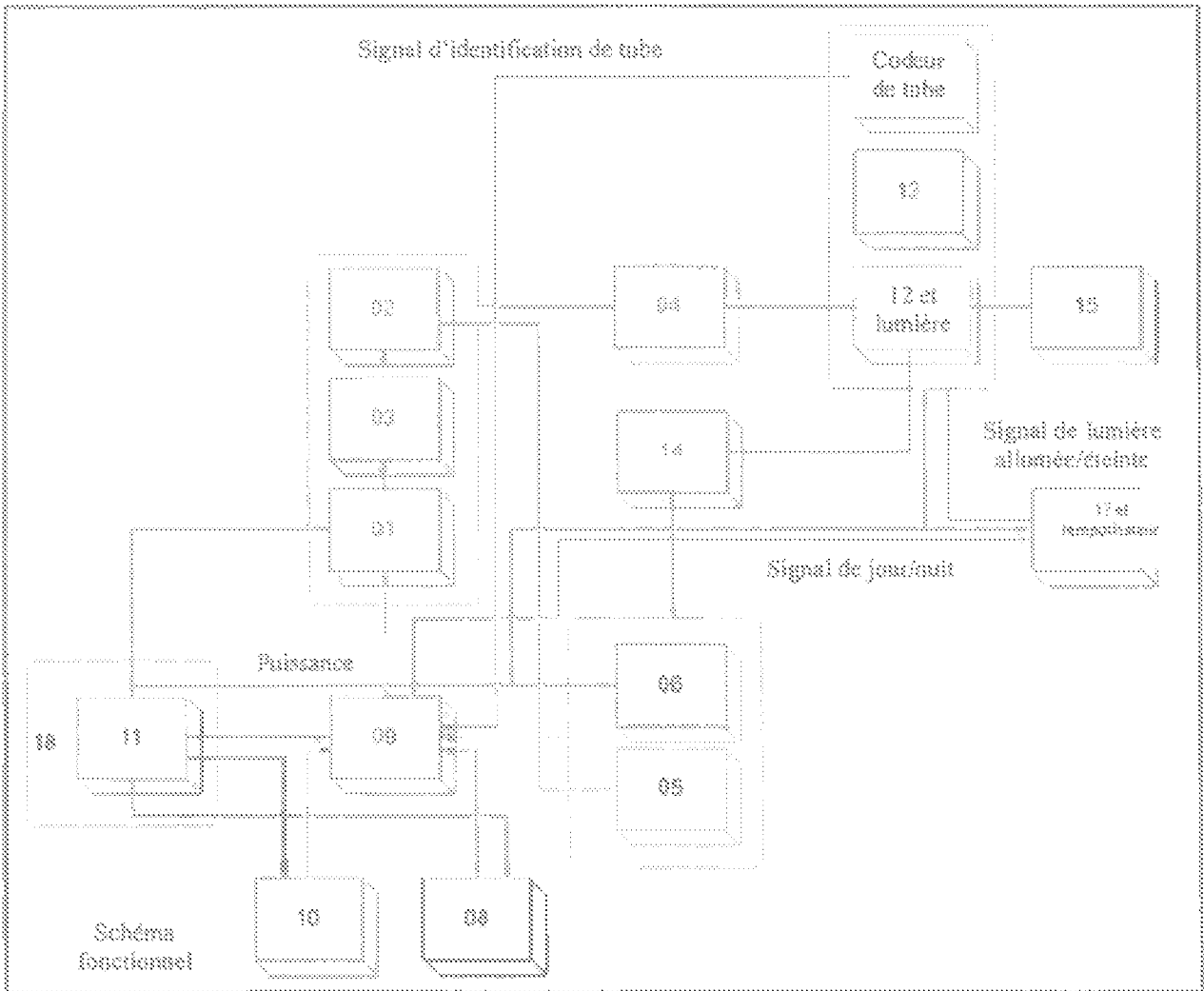


FIG. 27B

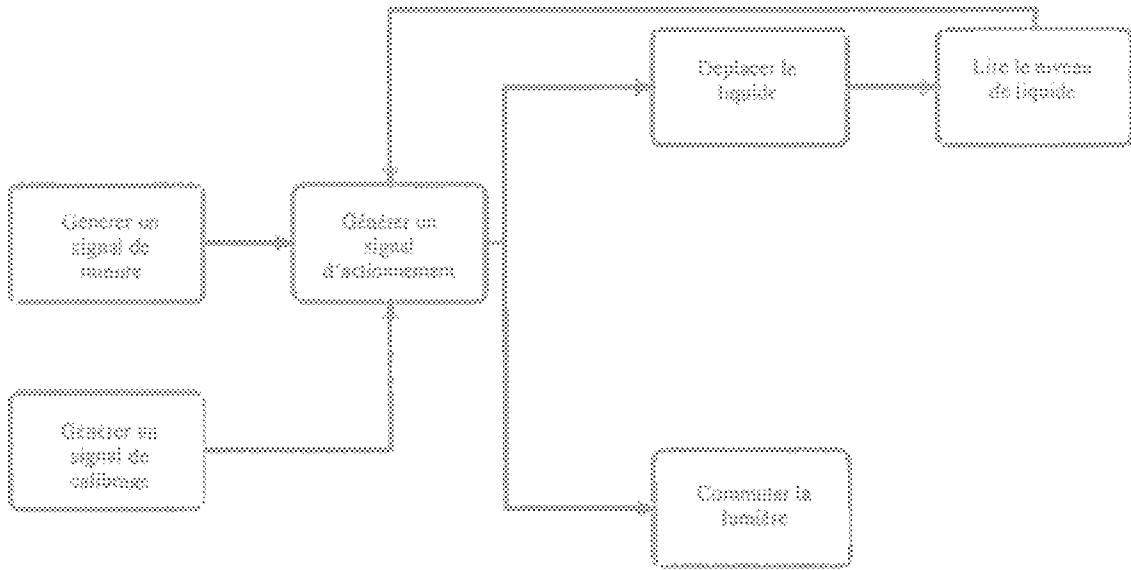


FIG. 28

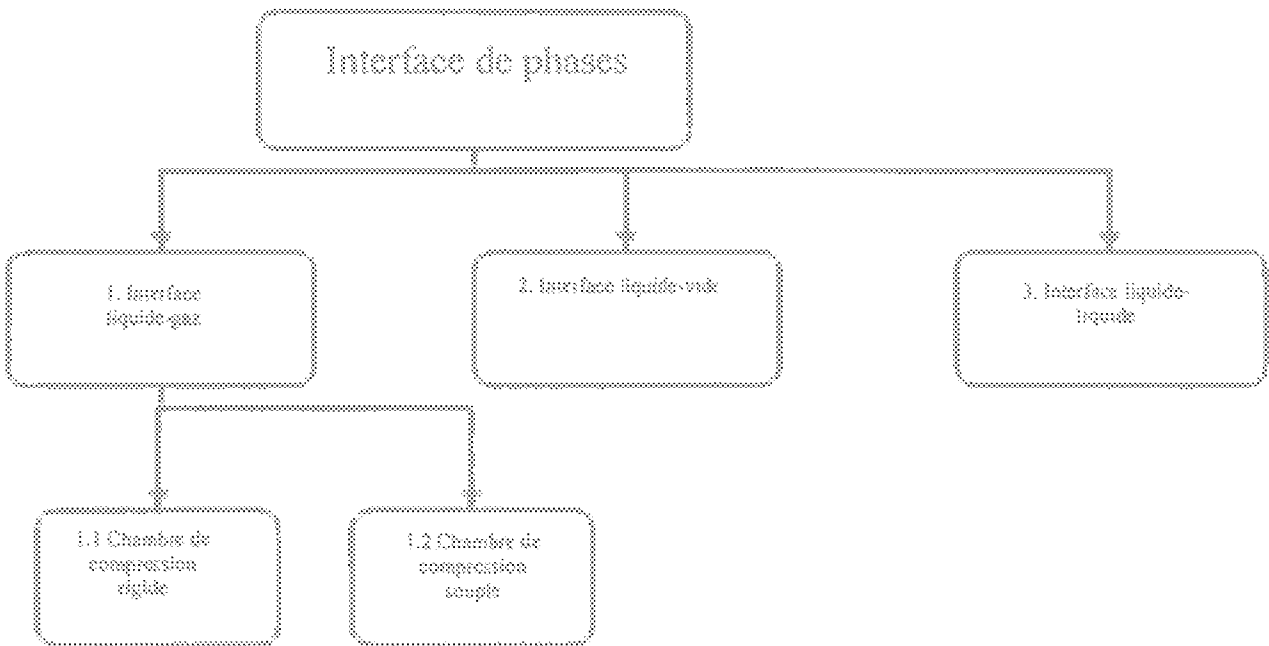


FIG. 29A

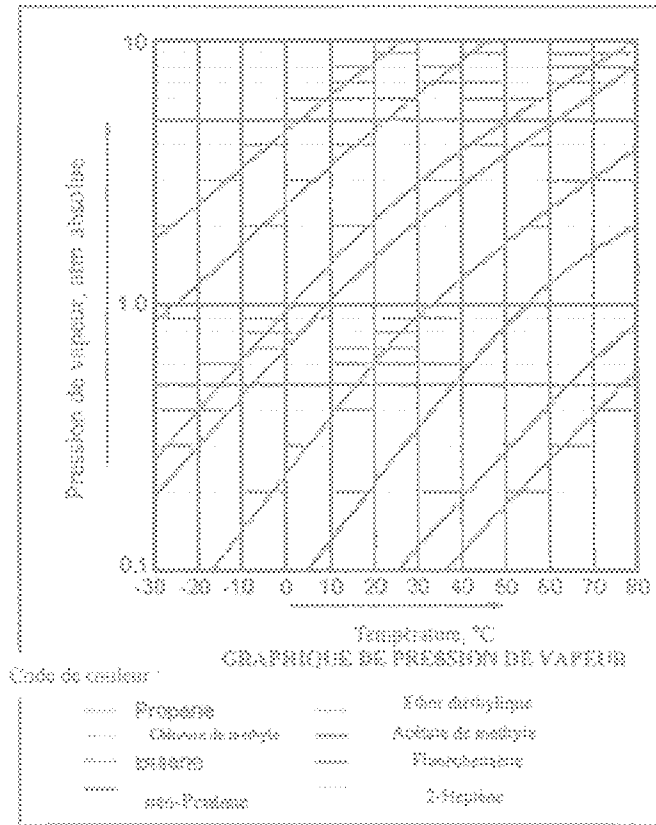


FIG. 29B

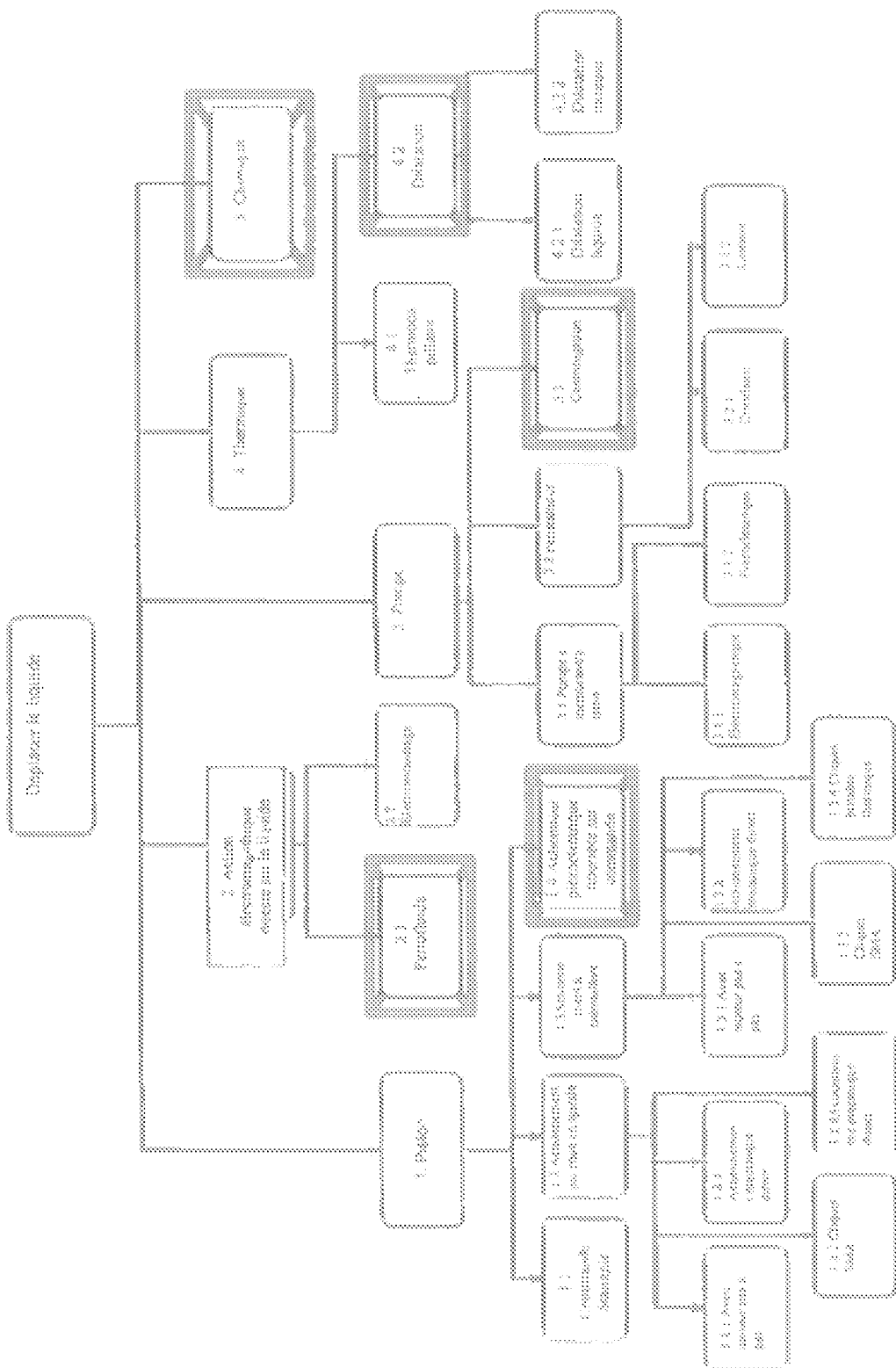


FIG. 29C

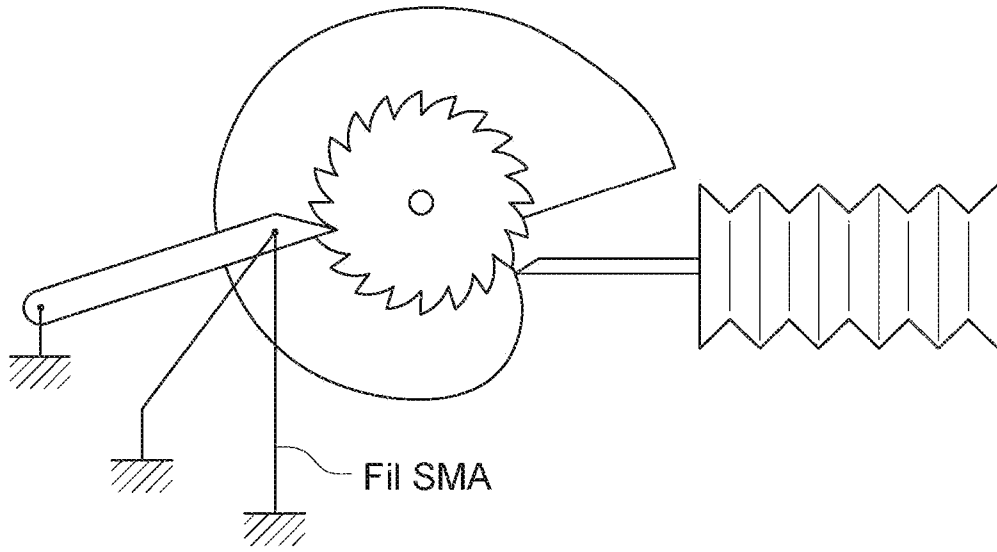


FIG. 30

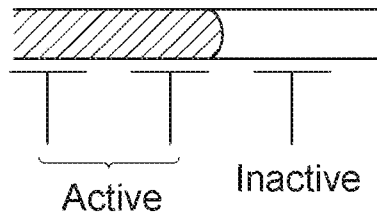


FIG. 31A

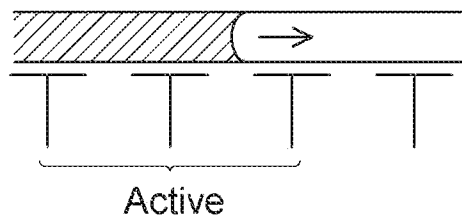


FIG. 31B

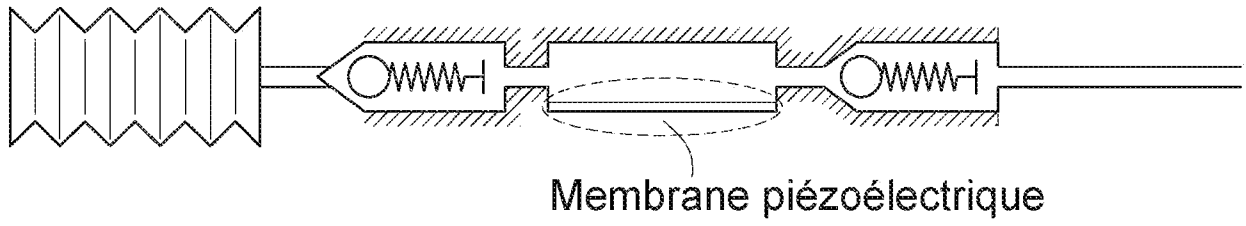


FIG. 32

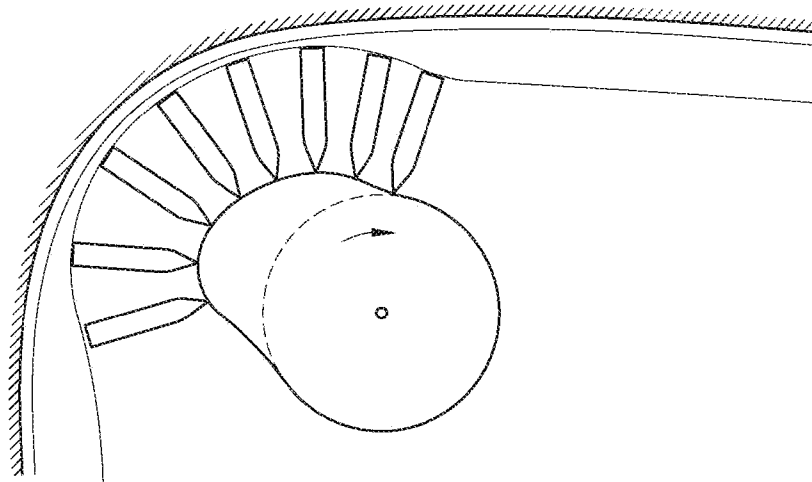


FIG. 33

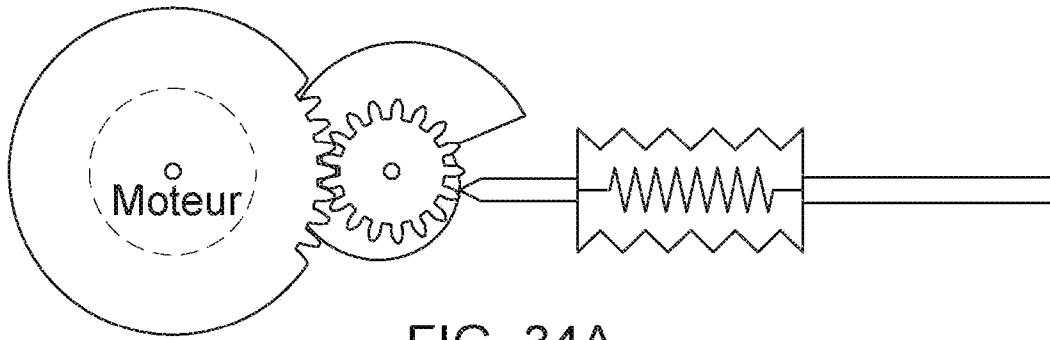


FIG. 34A

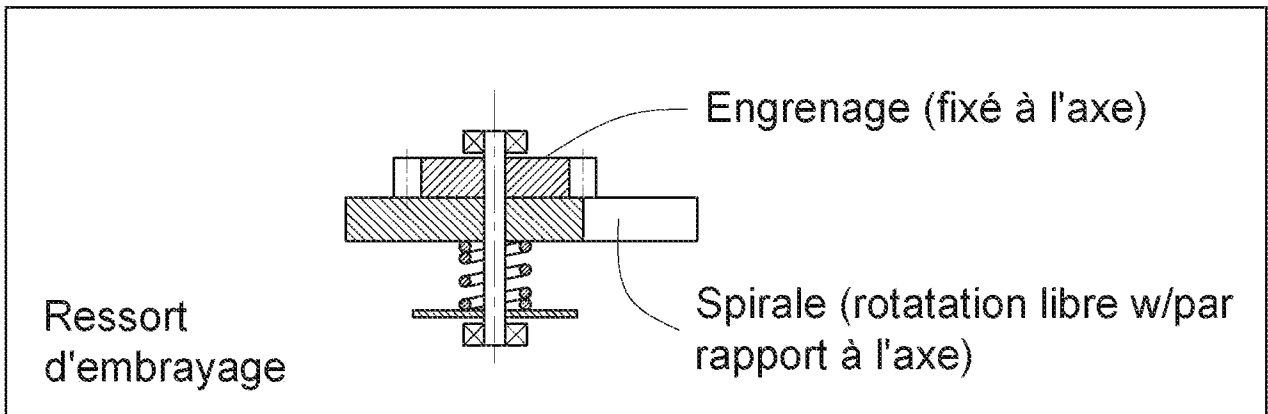


FIG. 34B

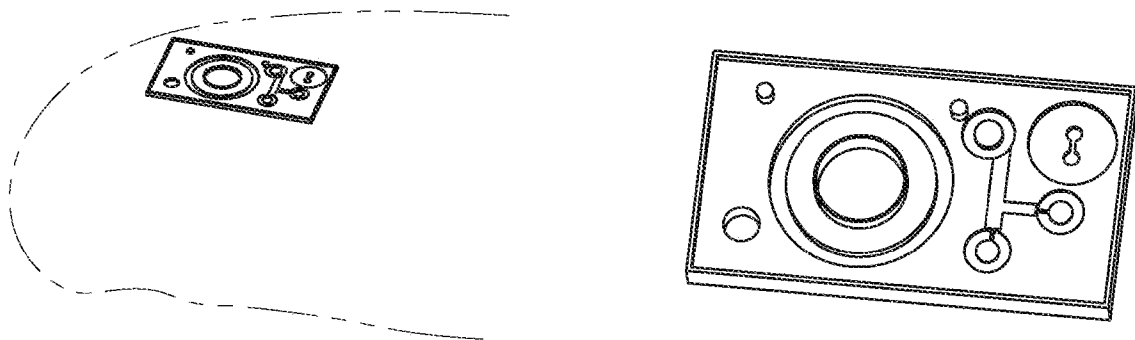


FIG. 35

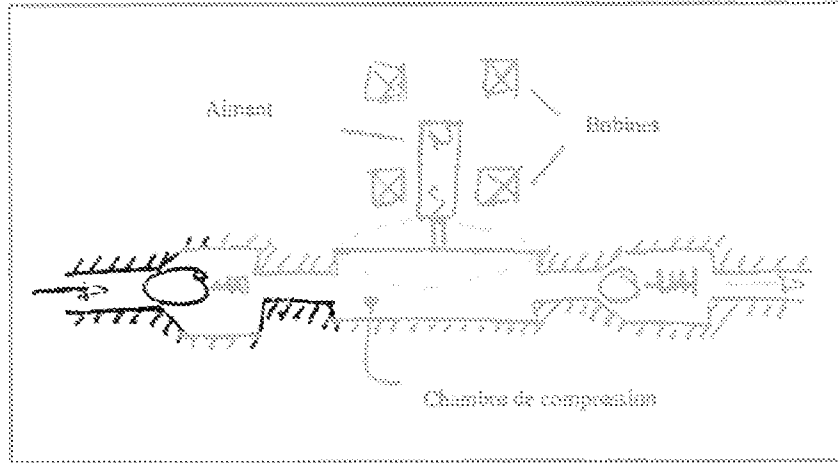


FIG. 36



FIG. 37A

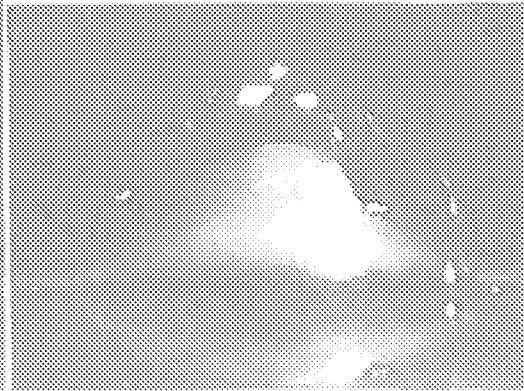


FIG. 37B

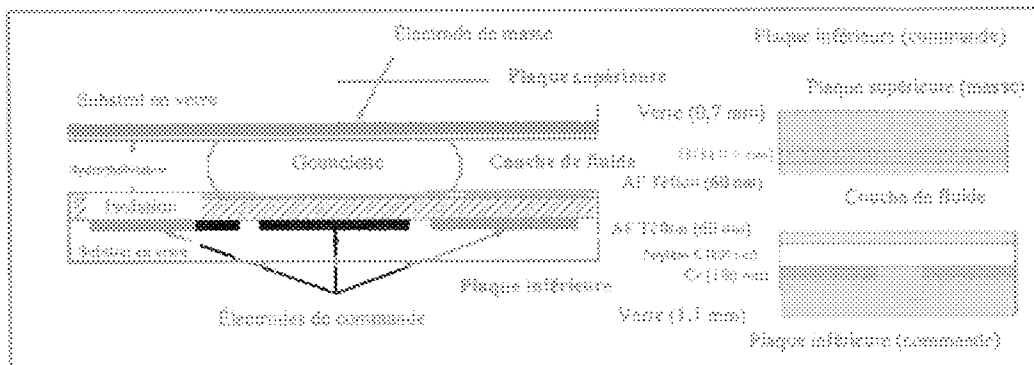


FIG. 38

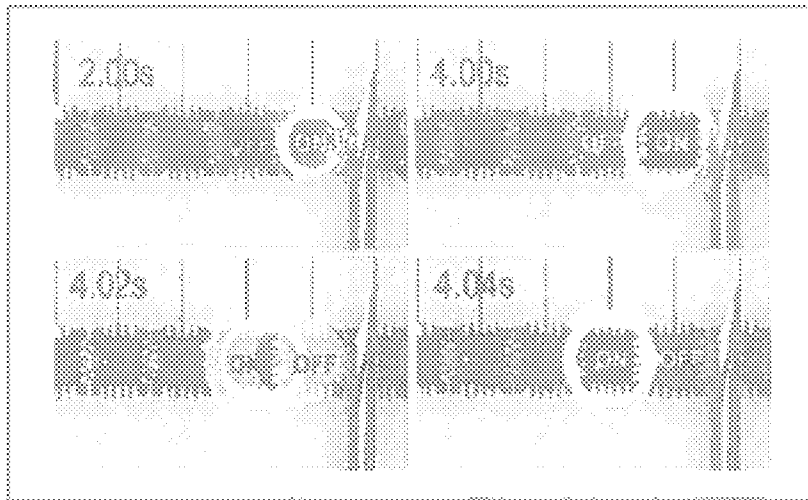


FIG. 39

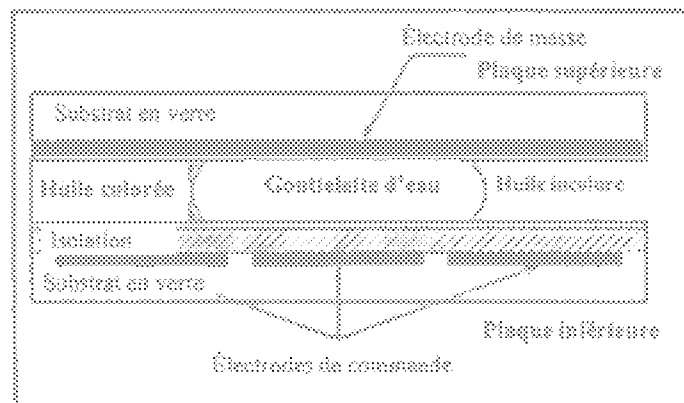


FIG. 40

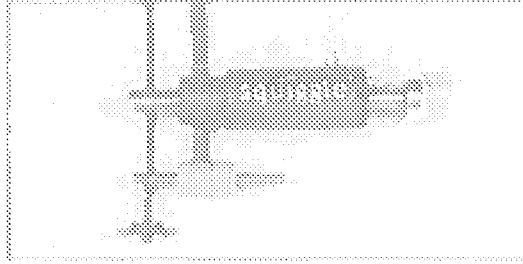


FIG. 41

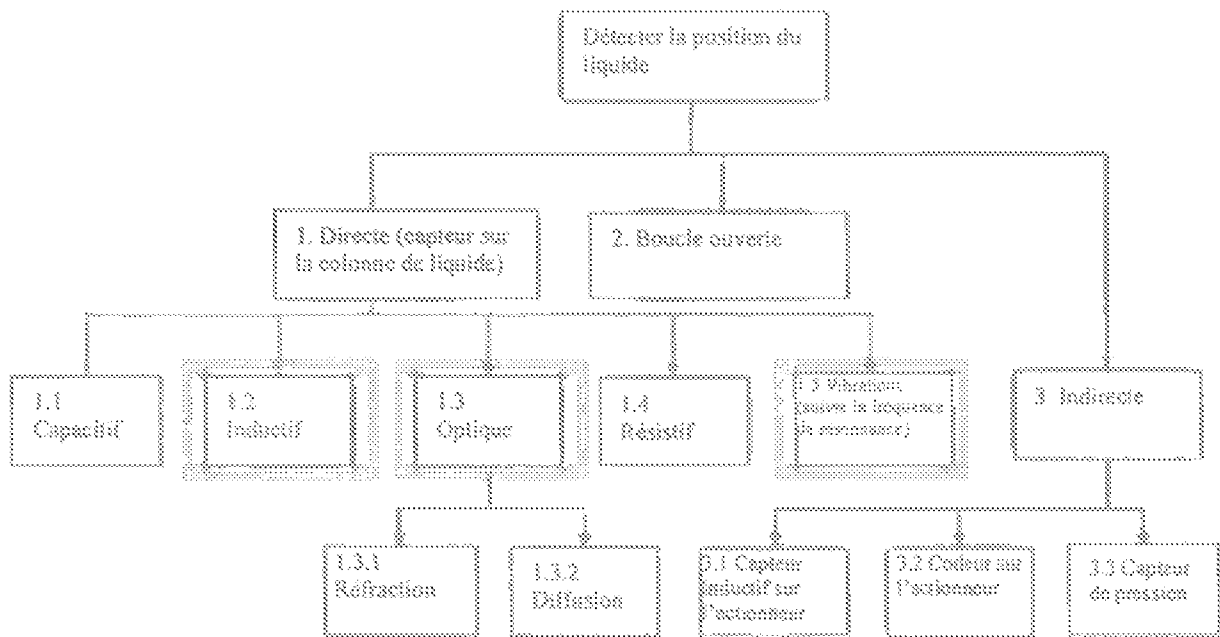


FIG. 42

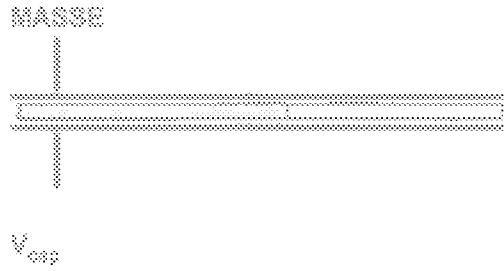


FIG. 43A

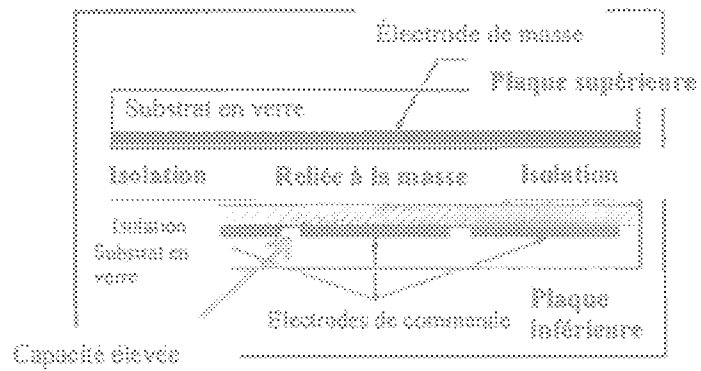


FIG. 43B

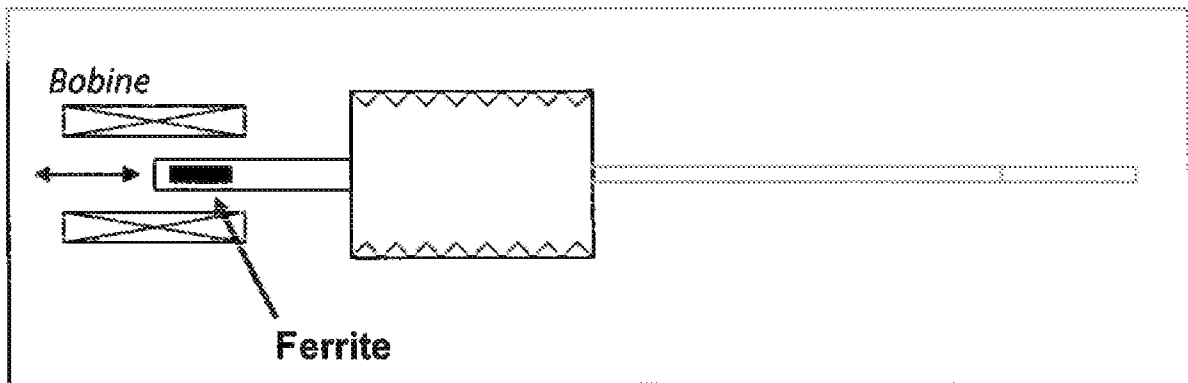


FIG. 44

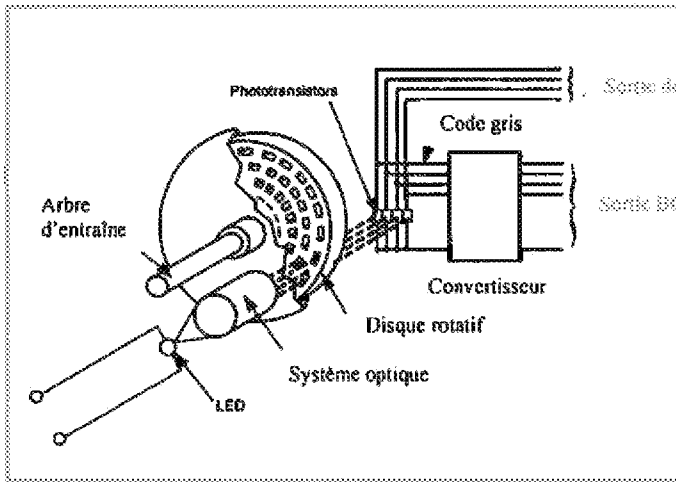


FIG. 45A

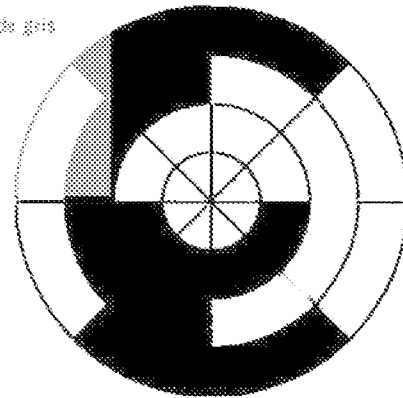


FIG. 45B

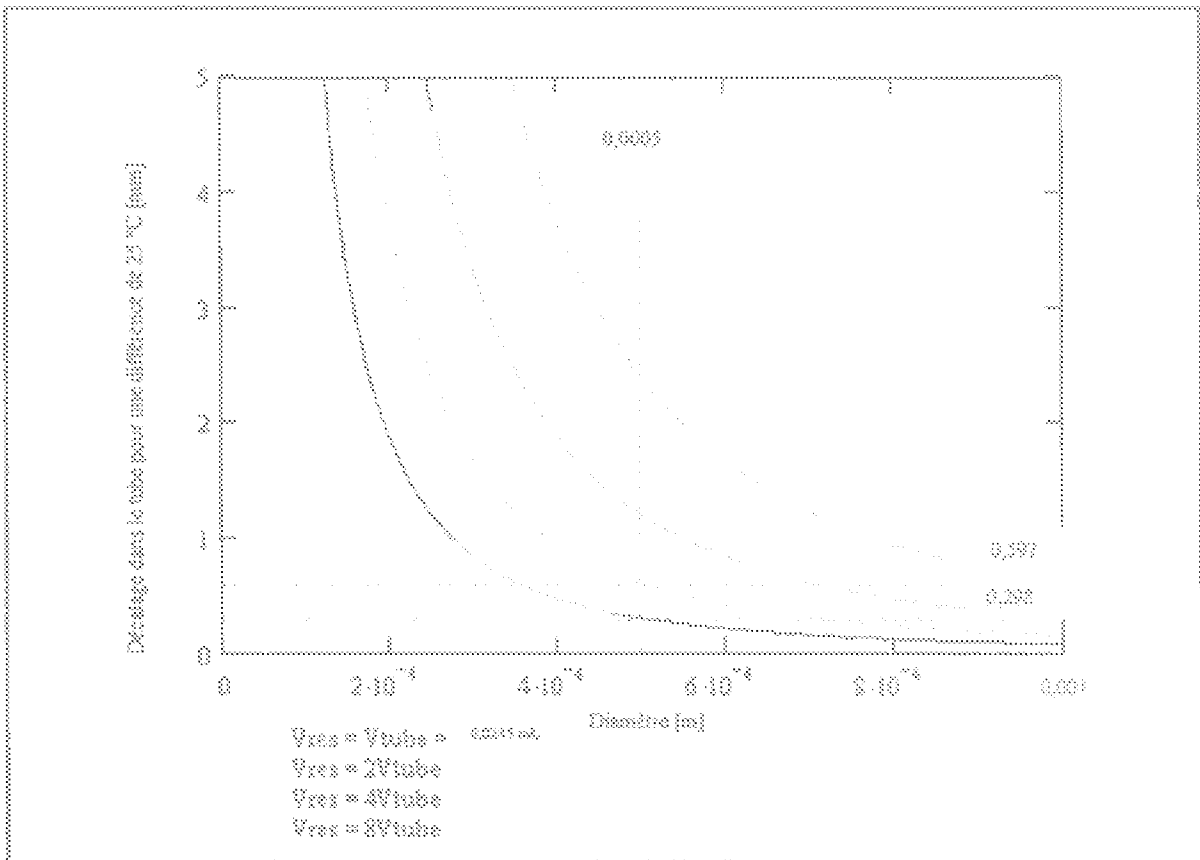


FIG. 46

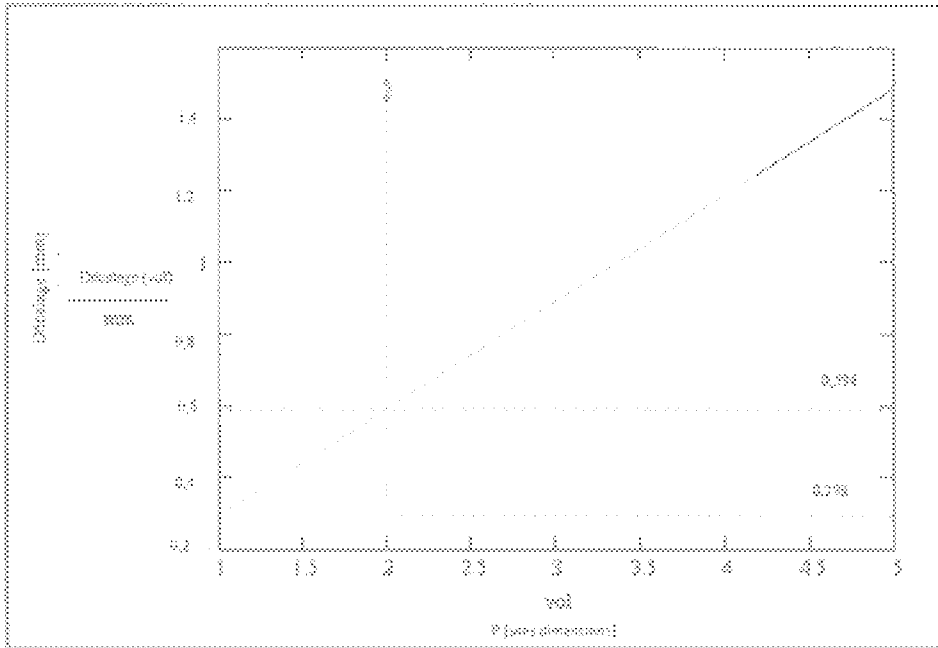


FIG. 47

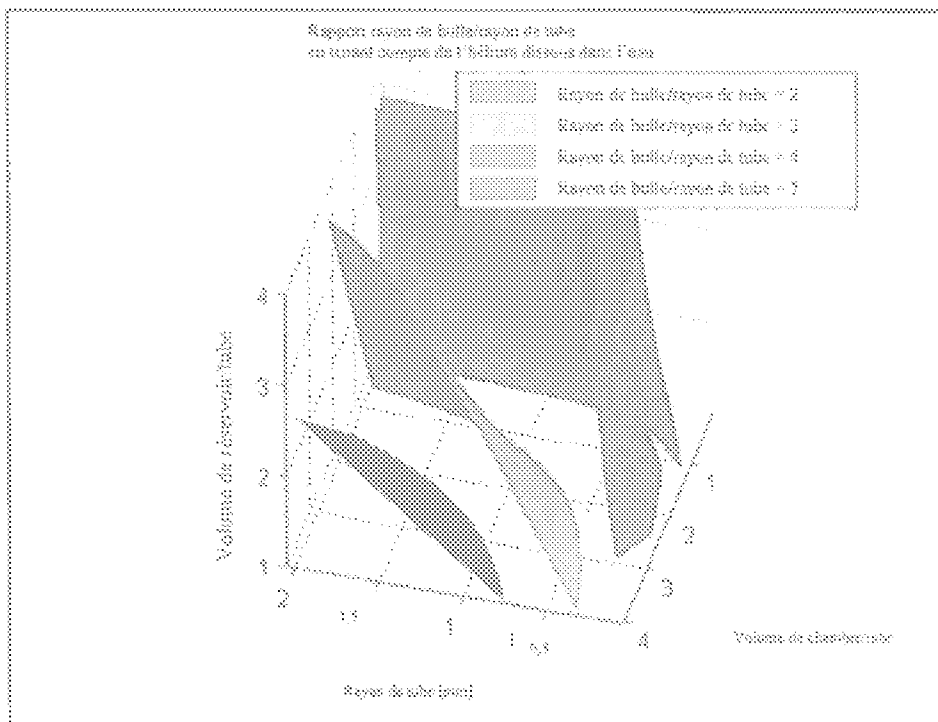


FIG. 48

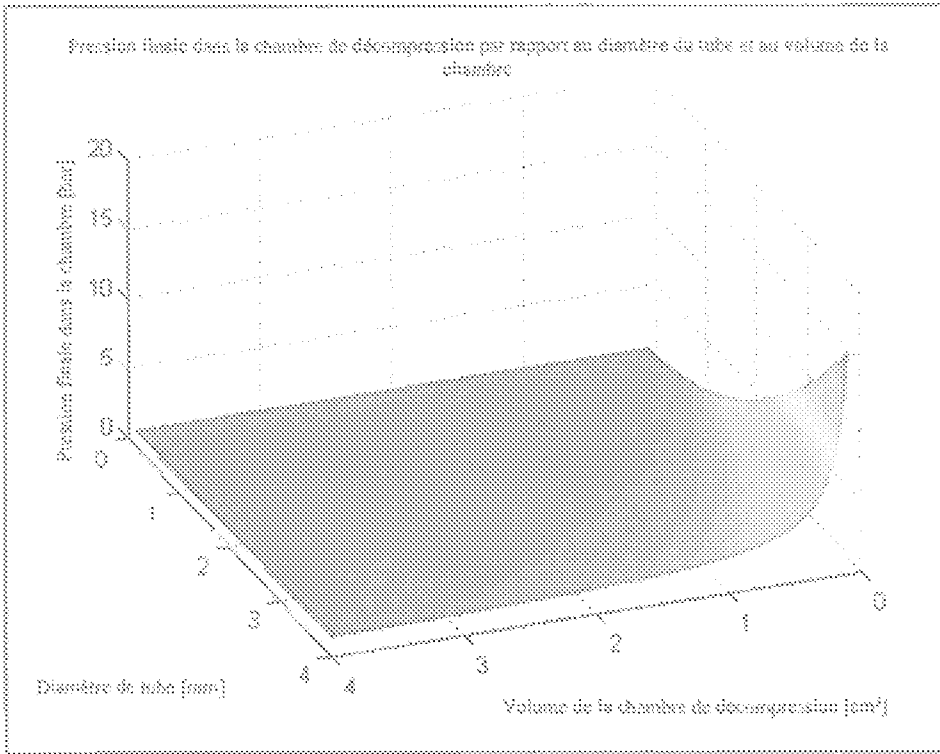


FIG. 49

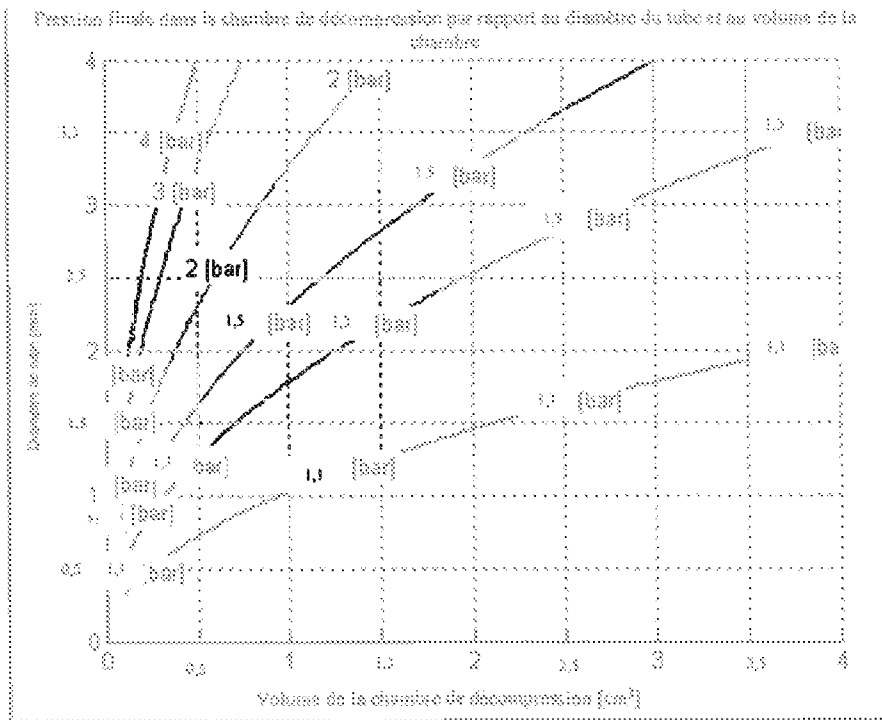


FIG. 50

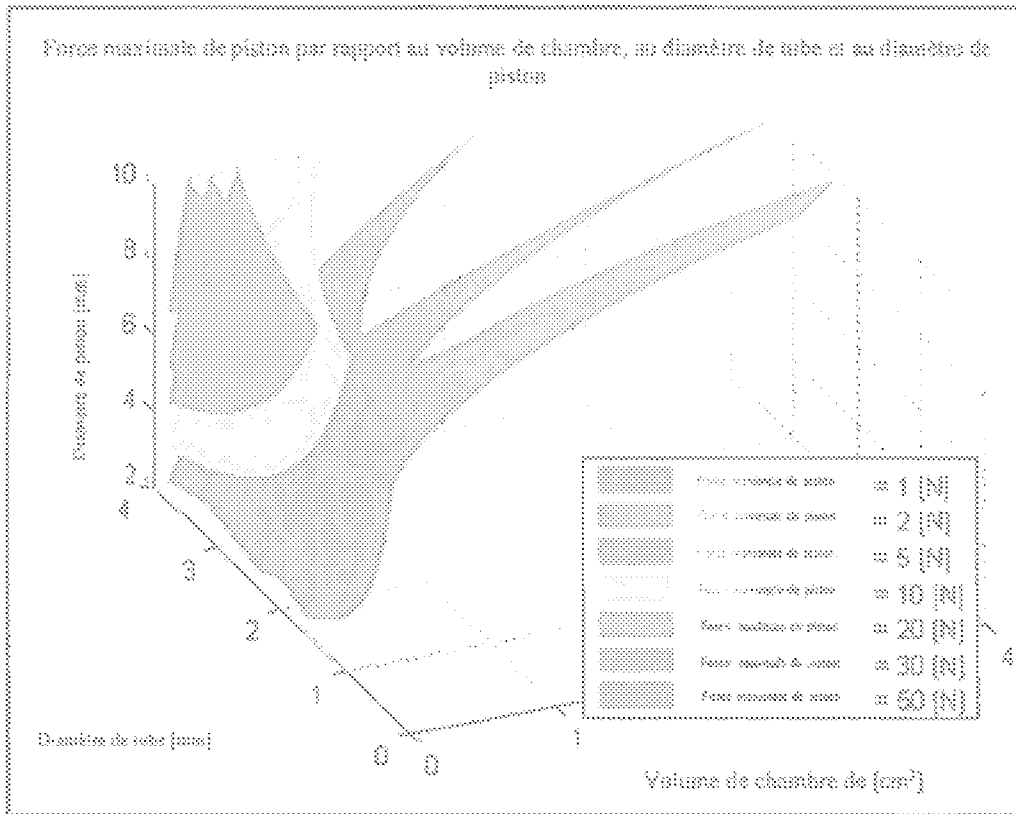


FIG. 51

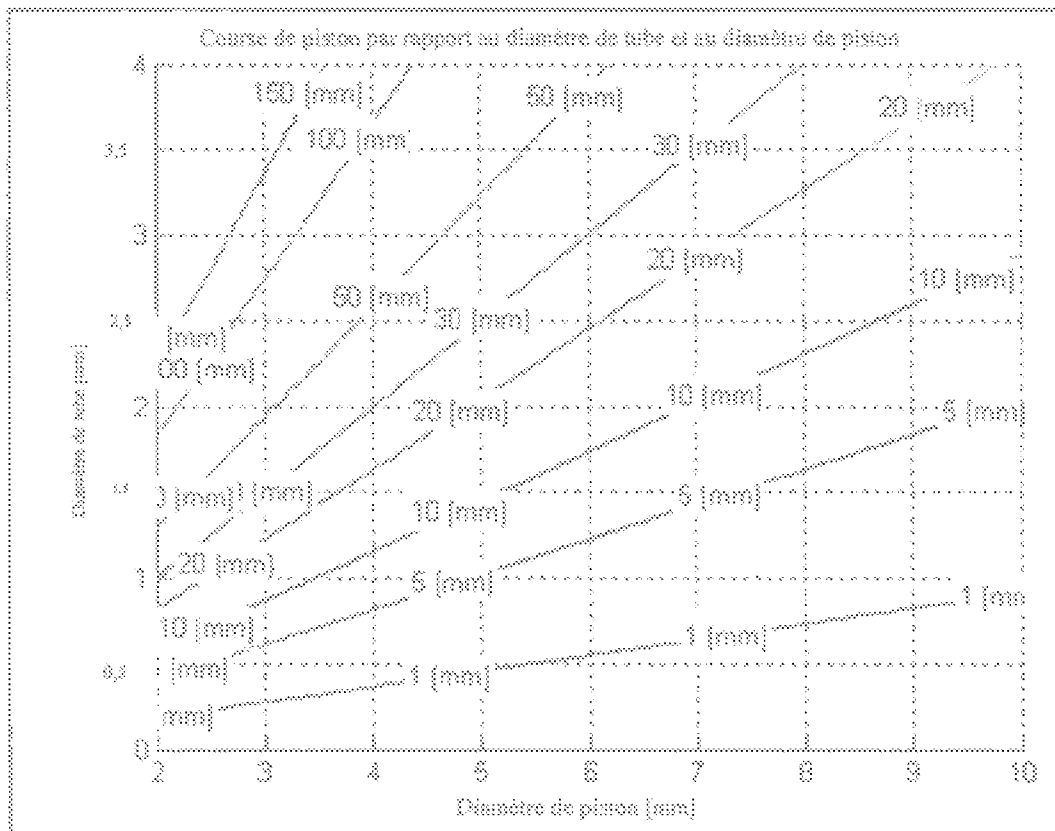


FIG. 52

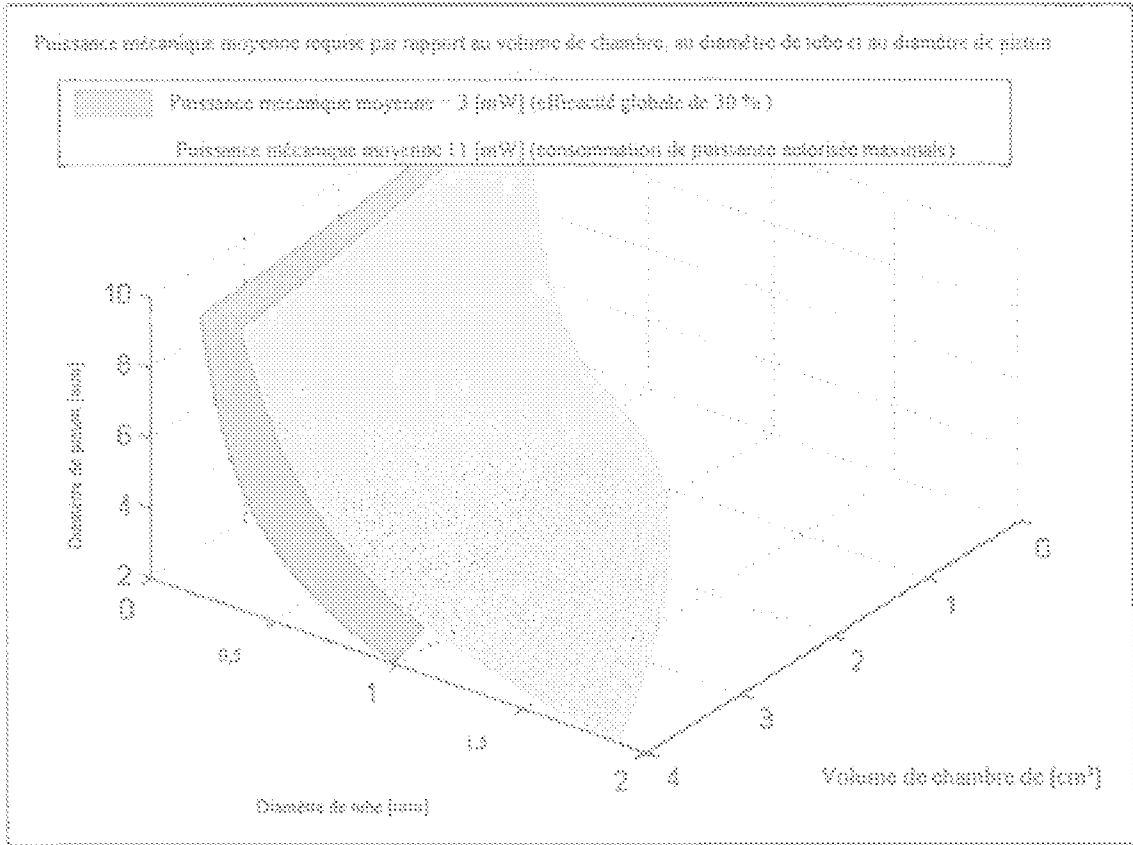


FIG. 53

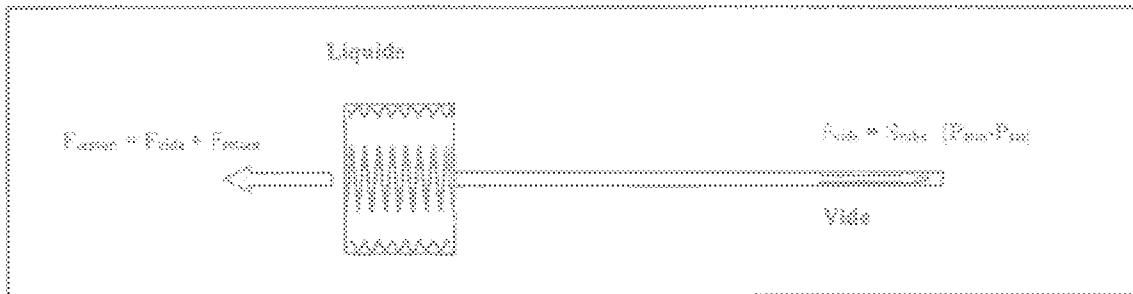


FIG. 54

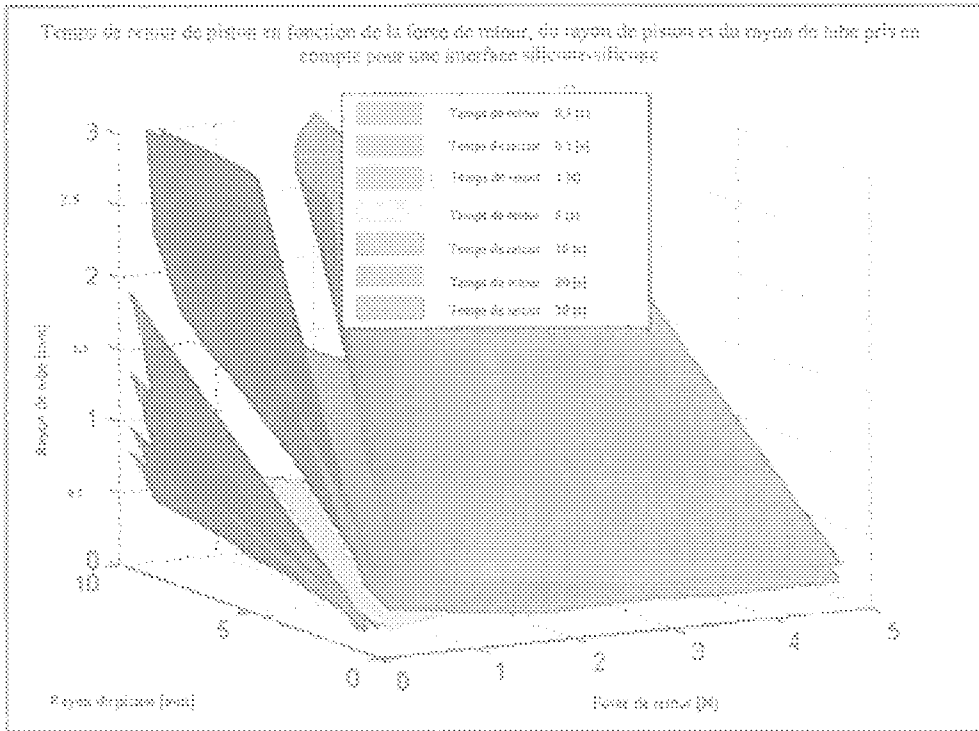


FIG. 55

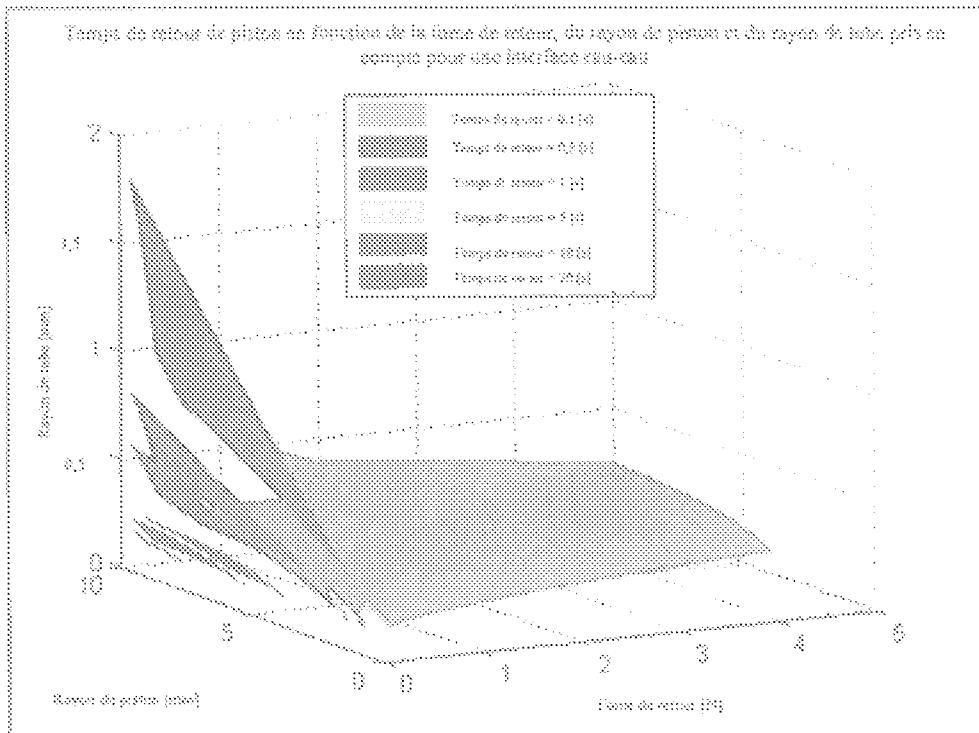


FIG. 56

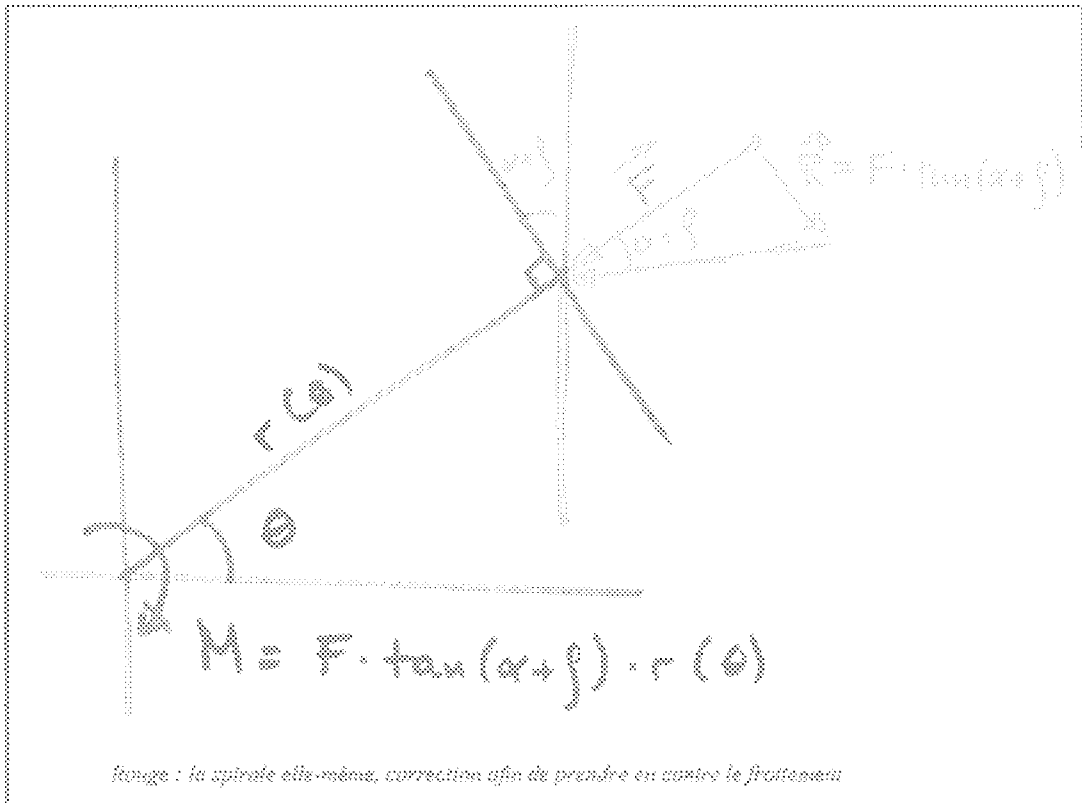


FIG. 57

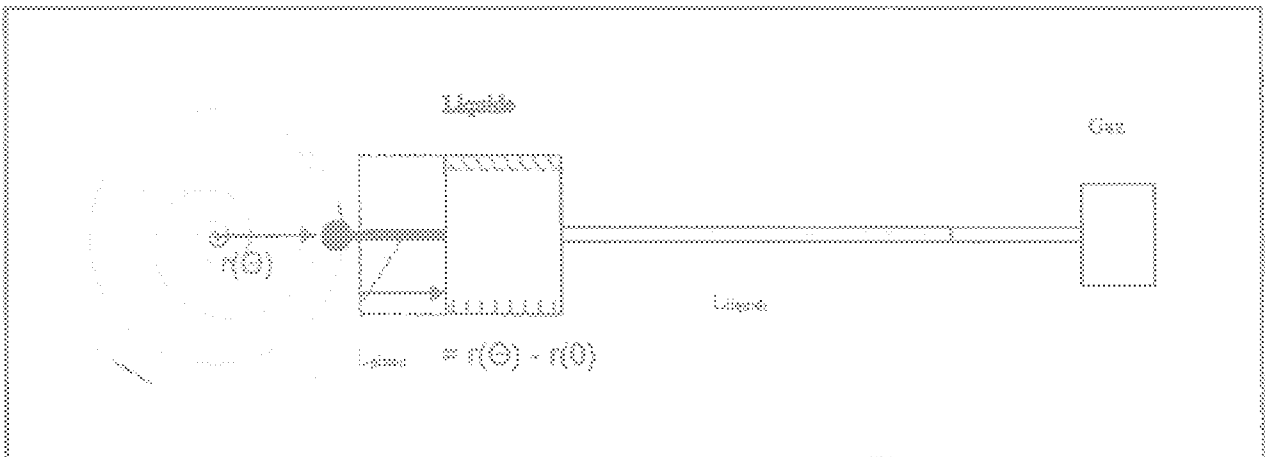


FIG. 58

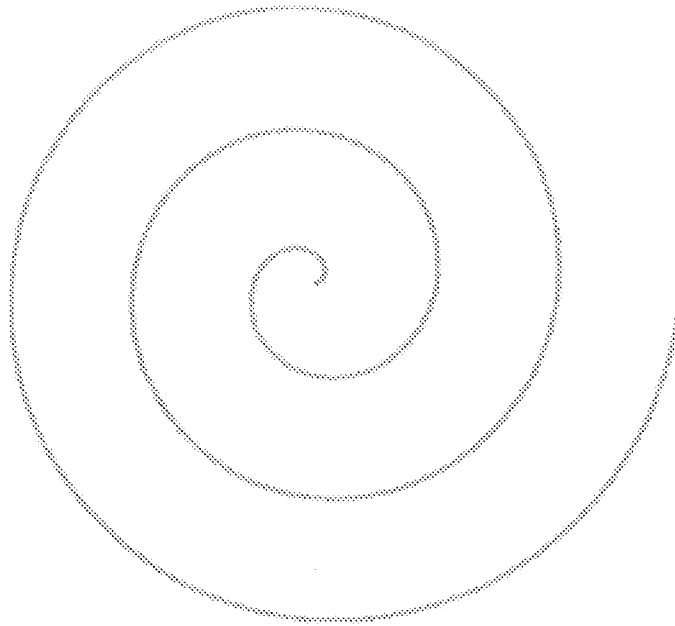


FIG. 59

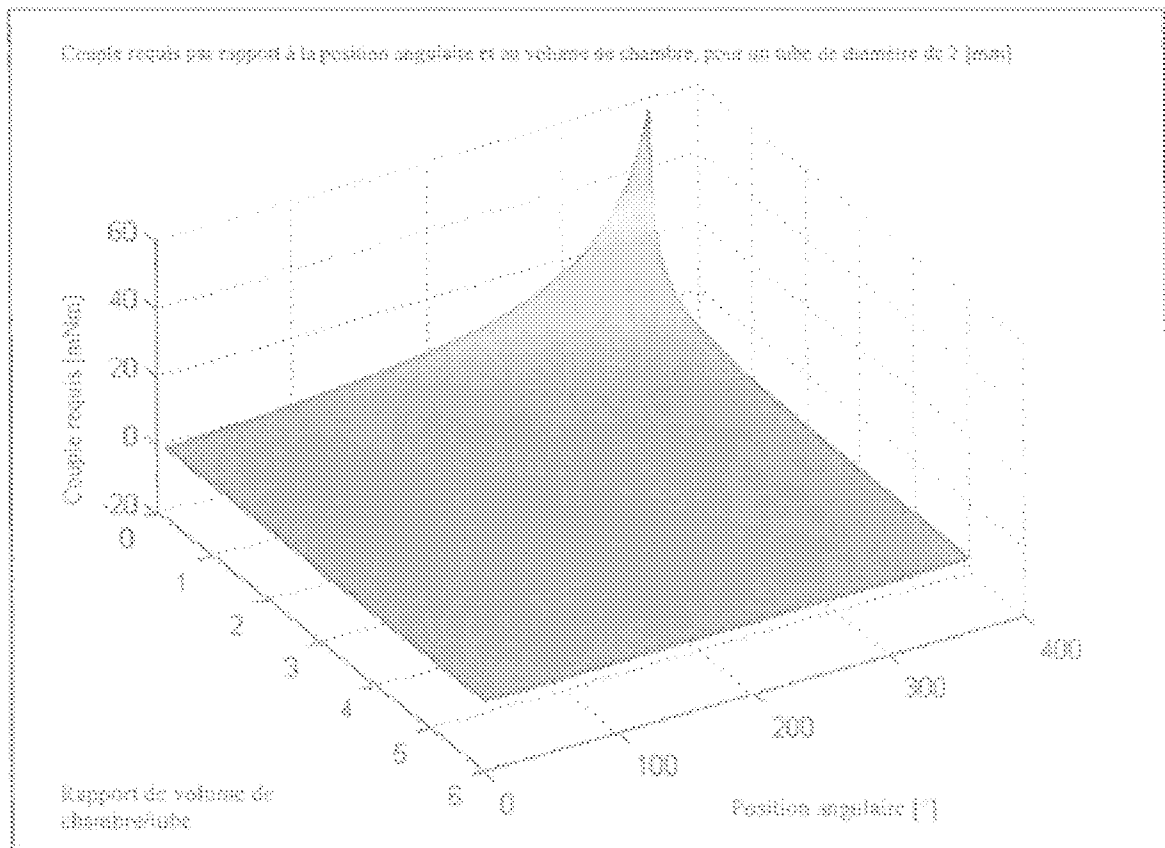


FIG. 60

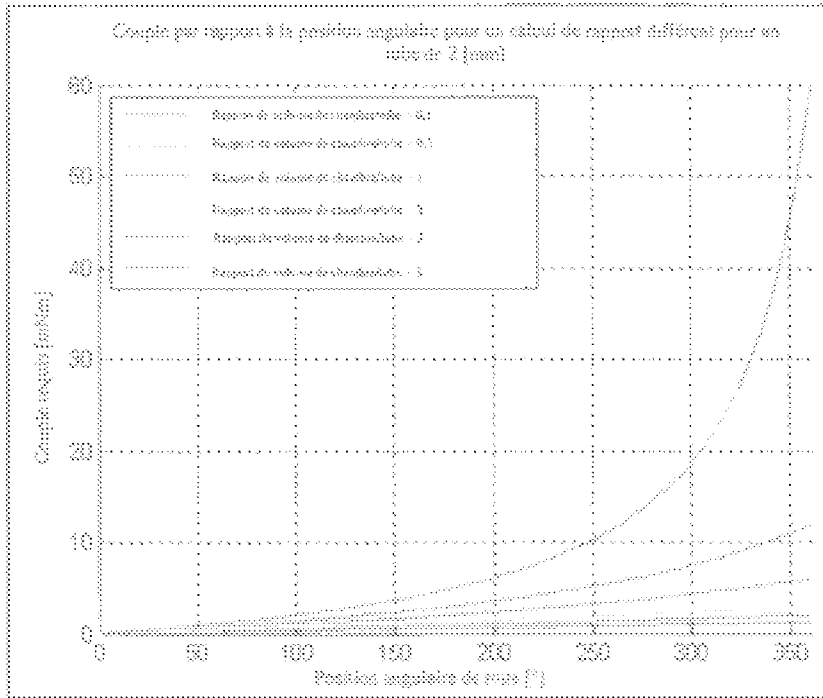


FIG. 61

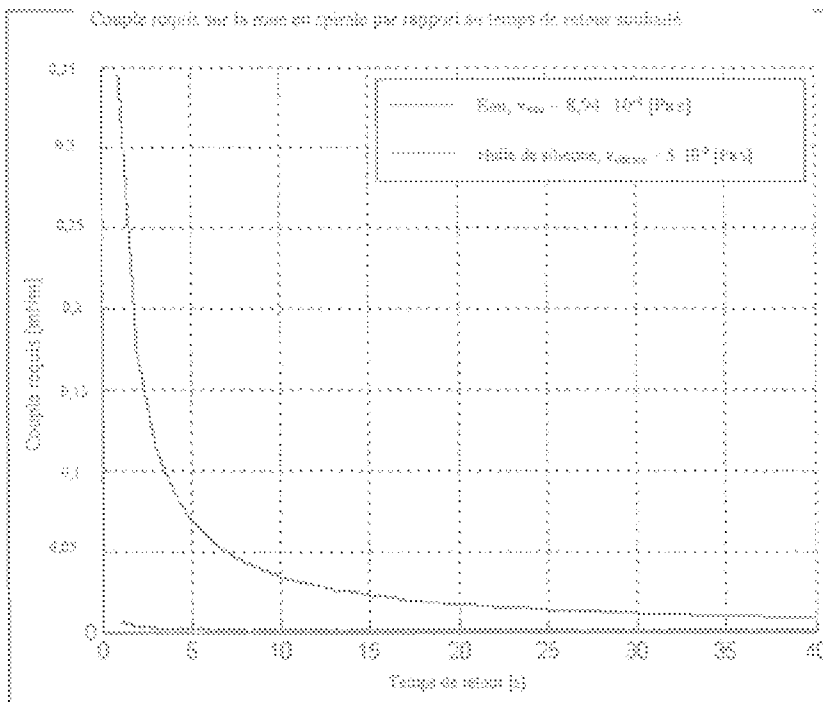


FIG. 62

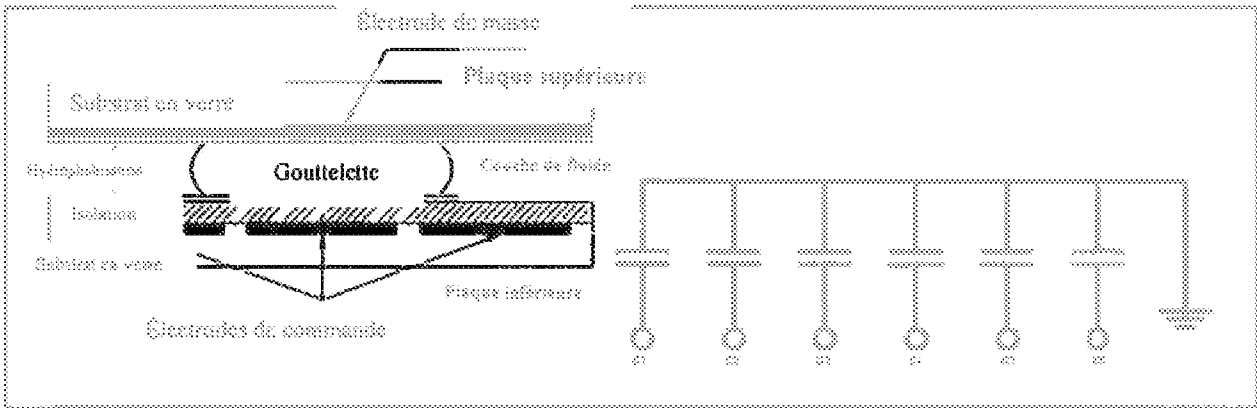


FIG. 63

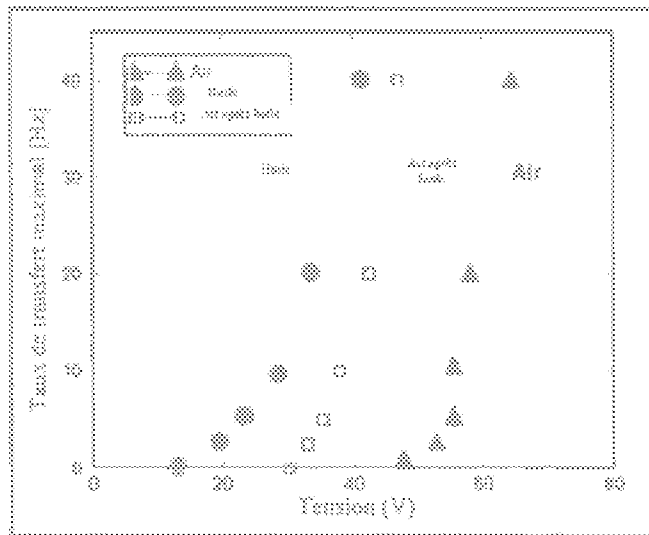


FIG. 64

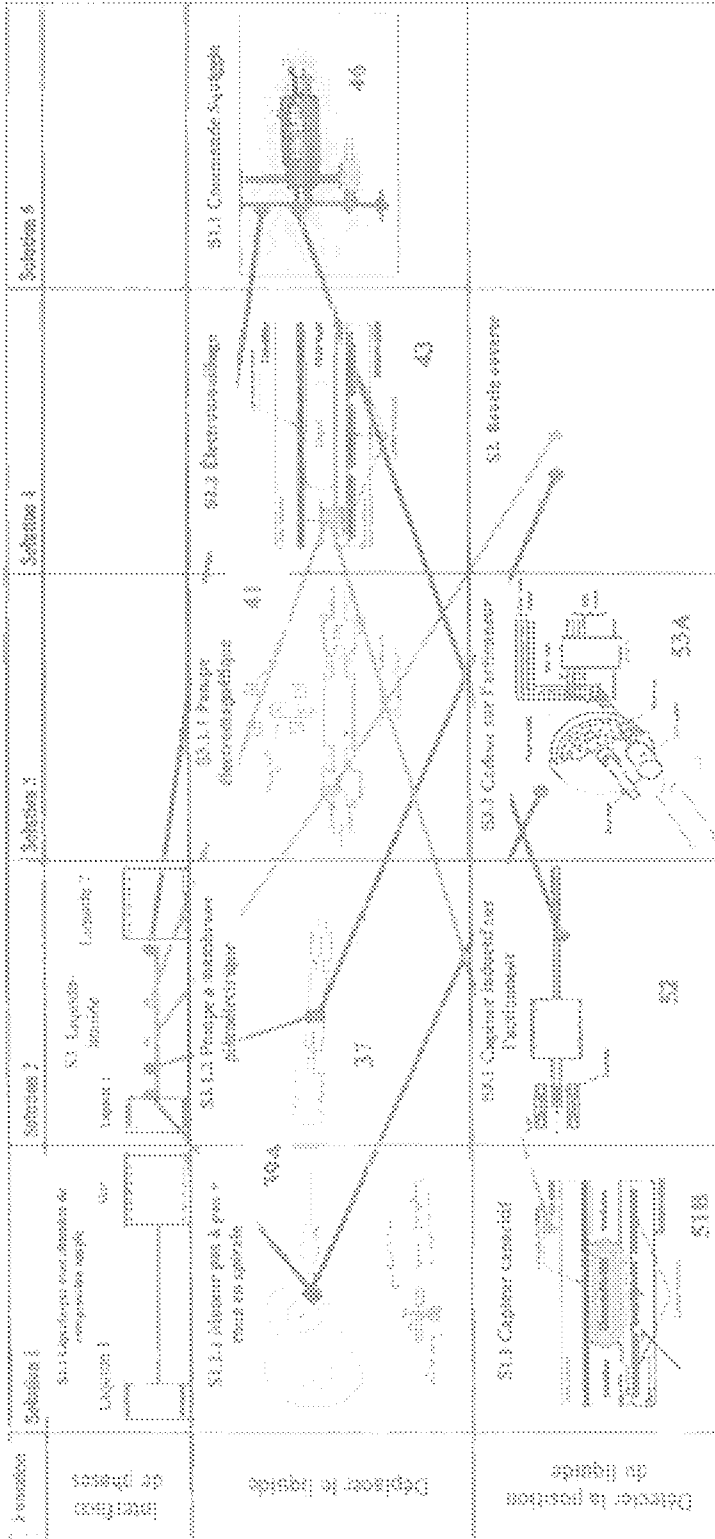


FIG. 65

ID	Concept	Interfaces de phases	Déplacer le liquide	Détecter la position du liquide
1	Roue en spirale			
2	Pompe électromagnétique			
3	Tige plongeante			
4	Électromoteur			
5	Commande souple			

FIG. 66

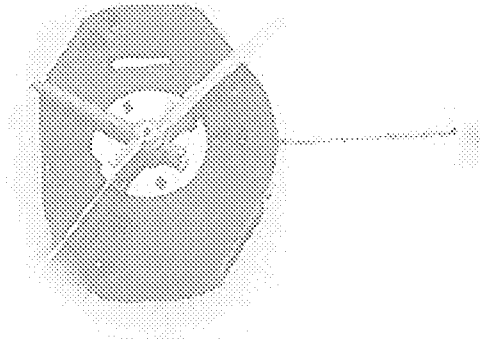


FIG. 67

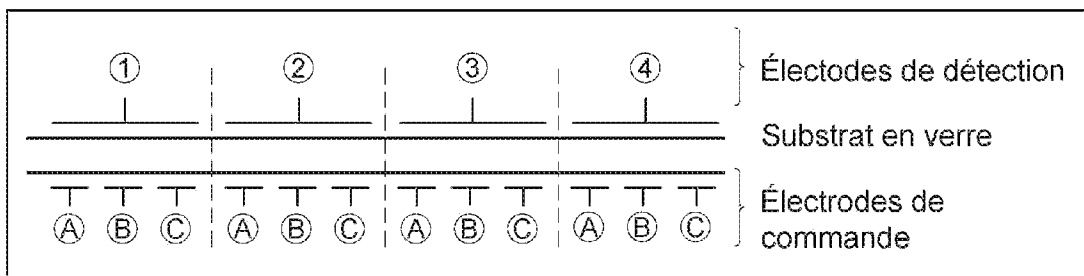
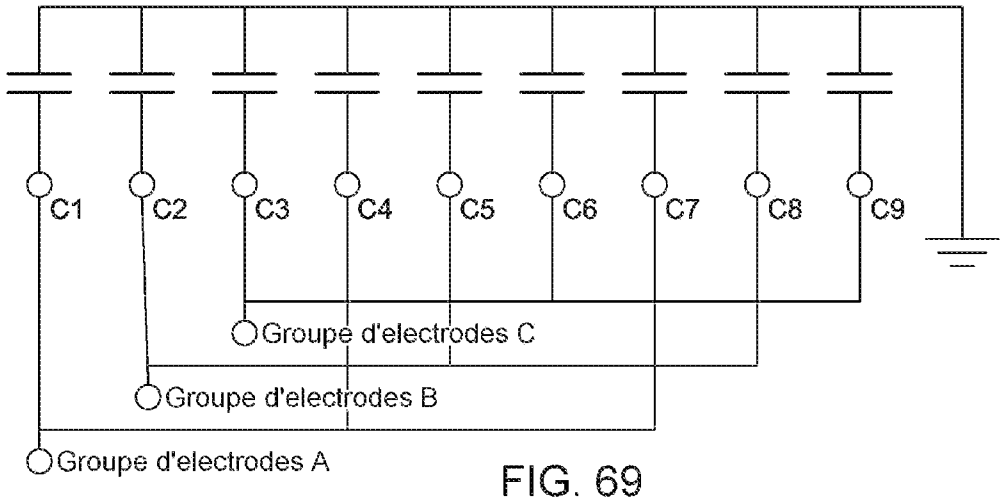
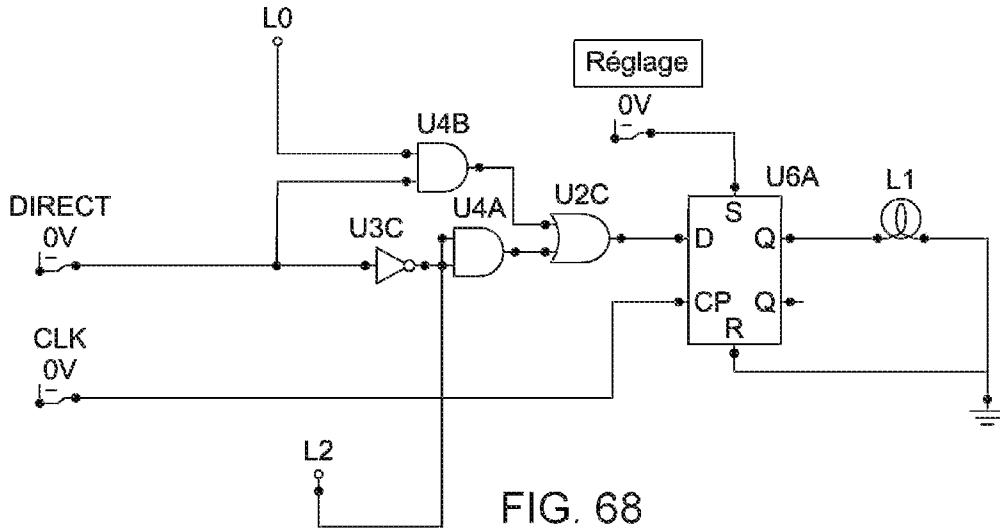


FIG. 70

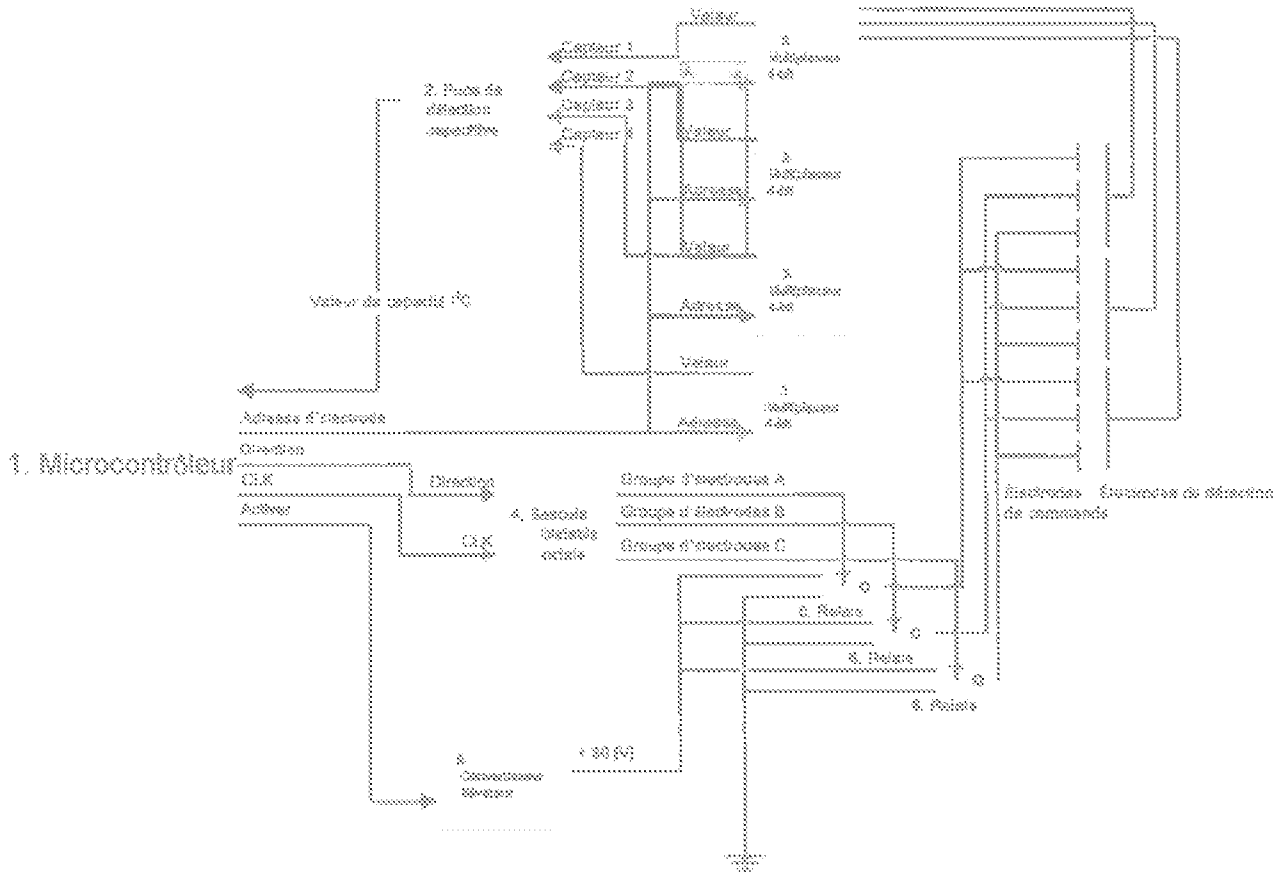


FIG. 71

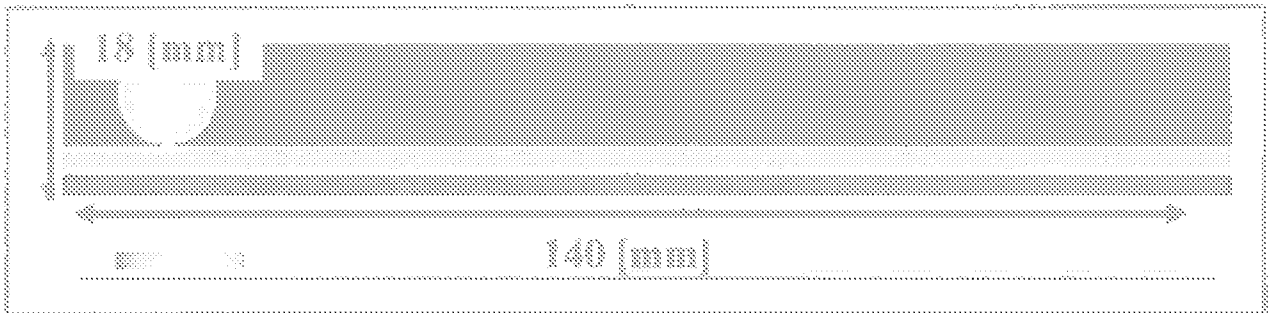


FIG. 72

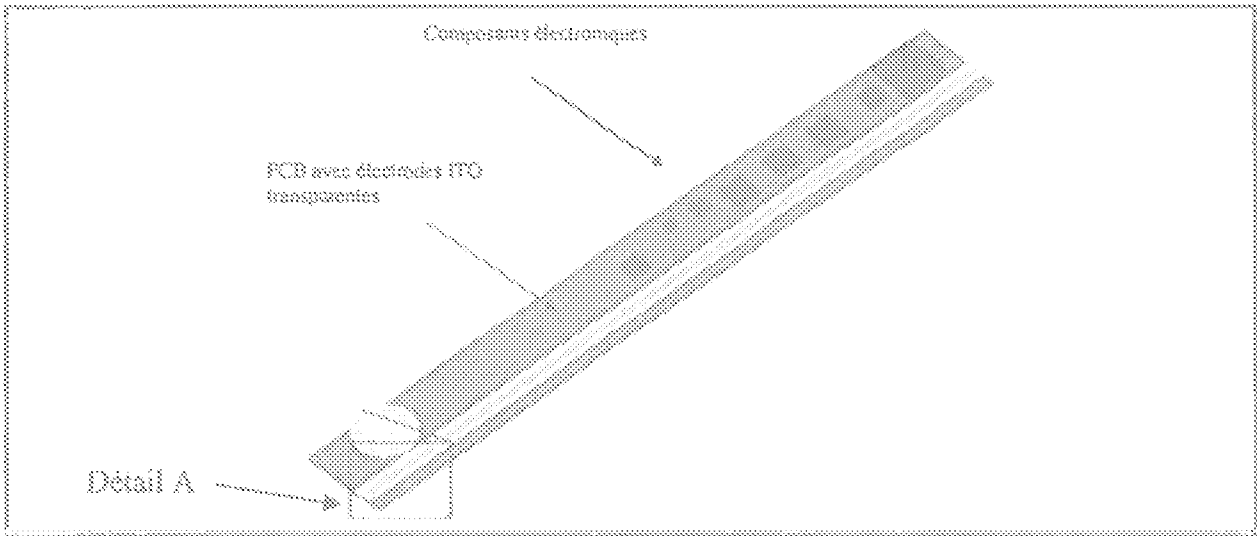


FIG. 73

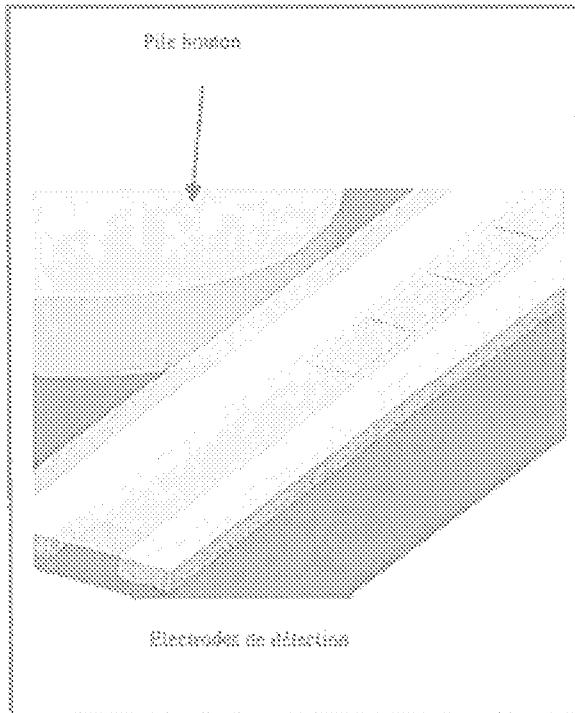


FIG. 74A

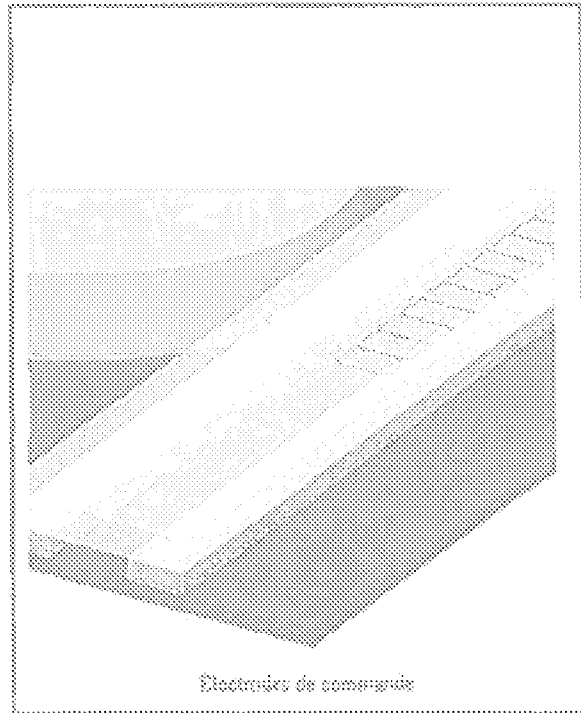


FIG. 74B

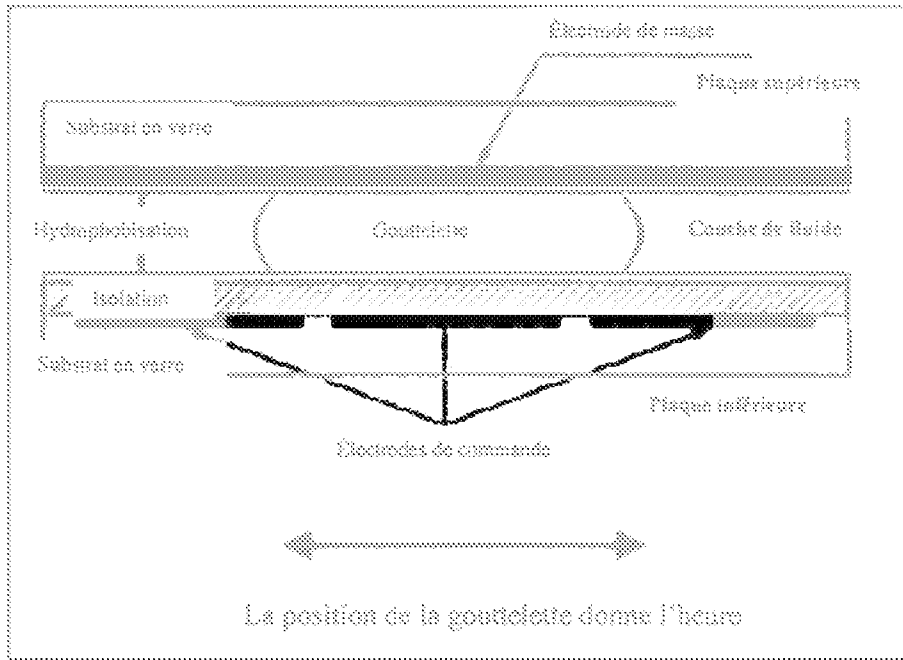


FIG. 75

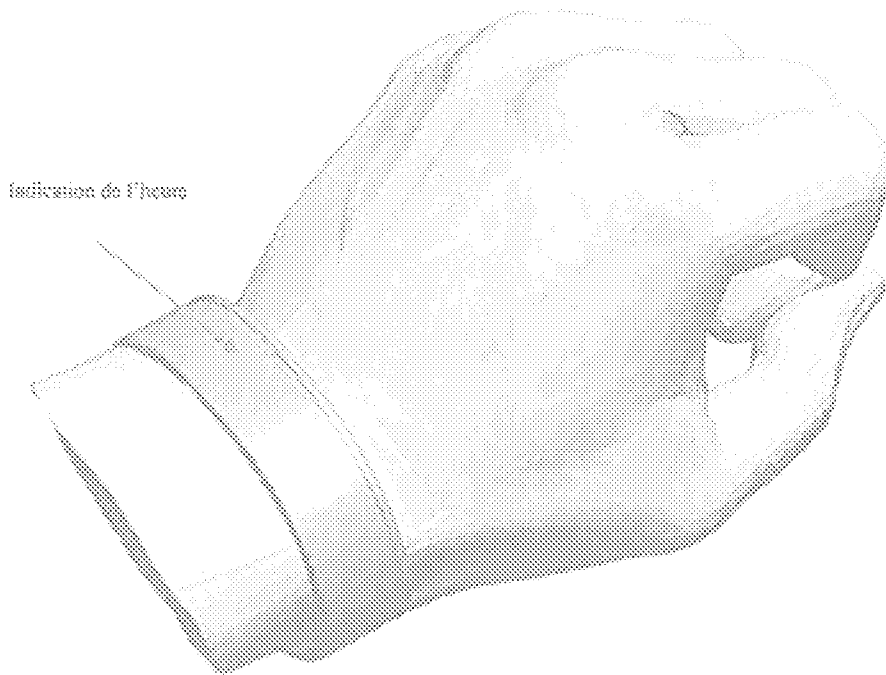


FIG. 76

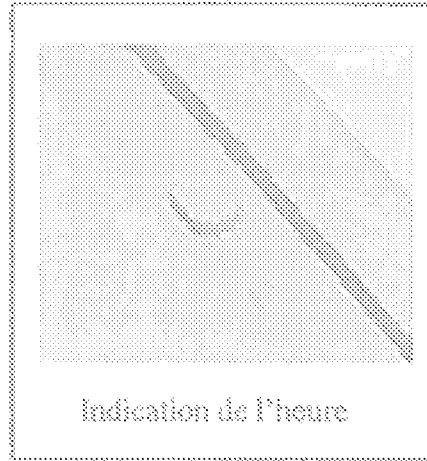


FIG. 77

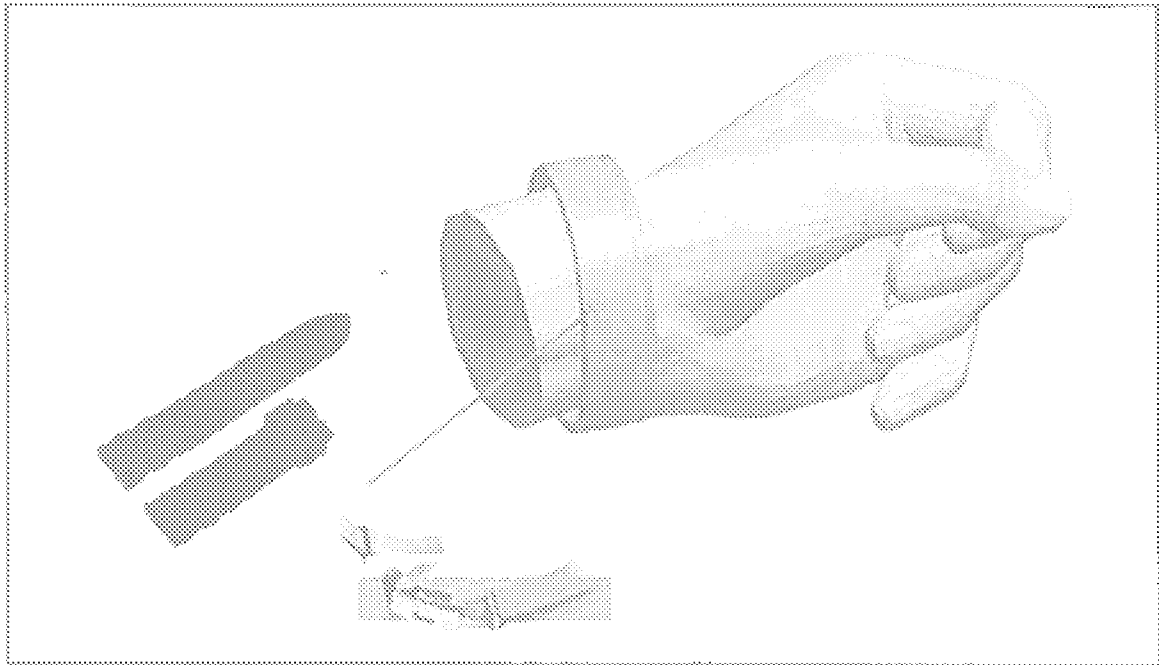


FIG. 78