



ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(84) États désignés (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible*) : ARIPO (BW, GH,

Publiée :

— *sans rapport de recherche internationale, sera republiée dès réception de ce rapport*

Dispositif d'injection de fluide

L'invention concerne un dispositif d'injection d'un fluide, par exemple, d'un carburant, en particulier pour un moteur à combustion interne.

5 Plus précisément, l'invention concerne, selon un premier de ses aspects, un dispositif d'injection de fluide présentant un axe principal d'injection et comportant :

- une buse comportant, suivant ledit axe, un orifice d'injection et un siège et étant, à l'opposé, liée à un boîtier,
- une aiguille présentant, suivant ledit axe, une première extrémité définissant un clapet, dans une zone de contact avec le siège et étant, à l'opposé, liée à un actionneur monté mobile axialement dans le boîtier pour une mise en vibration de l'aiguille assurant entre sa première extrémité et le siège de la buse un mouvement relatif propre à ouvrir et à fermer alternativement le clapet, l'actionneur comportant, selon l'axe, une première, une deuxième et une troisième parties adaptées à être traversées par des ondes acoustiques initiées par des vibrations de la deuxième partie, les première et troisième parties étant disposées axialement de part et d'autre de la deuxième partie, laquelle comprend un matériau électroactif, les trois parties étant serrées ensemble pour former un bloc présentant axialement deux limites opposées la première partie étant liée avec l'aiguille à l'endroit d'une des dites limites,
- des moyens d'excitation pour mettre la deuxième partie de l'actionneur en vibrations avec une période de consigne τ .

25 Un tel dispositif d'injection, dit injecteur, permet d'obtenir une ouverture cyclique avec la période de consigne τ , à fréquence, par exemple, ultrasonore, et à amplitude contrôlées, du clapet de l'injecteur,

en particulier, lors d'un régime établi de son fonctionnement, c'est-à-dire, lors du fonctionnement à une température prédéterminée hors phases de démarrage et d'arrêt de l'injecteur. Une nappe formée par le fluide s'échappant de la buse à l'ouverture du clapet, se trouve
5 fractionnée et forme de fines gouttelettes. Dans une application de l'injecteur dans lequel il pulvérise du carburant dans une chambre à combustion, les fines gouttelettes favorisent un mélange air/carburant plus homogène ce qui rend le moteur moins polluant et plus économique.

10 Selon des dispositifs connus, l'ouverture cyclique du clapet est assurée à l'aide de moyens conventionnels de mise en vibration, par exemple, piézoélectriques et/ou magnétostrictifs munis des moyens d'excitation correspondants. Les moyens de mise en vibration sont agencés dans l'actionneur présentant axialement deux limites
15 opposées dont l'une, dite première limite, est liée avec l'aiguille. Excité par les moyens de mise en vibration, l'actionneur convertit une énergie électrique en vibrations de sa première limite, avec la période de consigne τ et une amplitude prédéterminée. L'actionneur agissant, via sa première limite, directement sur l'aiguille joue ainsi un rôle d'un
20 « maître » actif pilotant l'aiguille qui se présente alors comme une « esclave » passive pilotée. En effet, les vibrations de la première limite de l'actionneur « maître » produisent des mouvements alternatifs longitudinaux de l'aiguille « esclave » et, donc, de sa première extrémité, par rapport au siège de la buse. Pour assurer un débit
25 suffisant du carburant lors de l'ouverture du clapet, une mise en résonance et sensiblement en opposition de phase de la tête de l'aiguille et de la buse est nécessaire. Pour cela les longueurs caractéristiques de l'aiguille et celle de la buse sont choisies, de manière connue, de sorte que les temps de propagation d'ondes
30 acoustiques dans des matériaux respectifs formant l'aiguille et la buse soient égaux à un quart de la période des vibrations $\tau/4$ ou à des multiples impaires dudit quart de la période, c'est-à-dire, à $[2j+1]*\tau/4$ avec un coefficient multiplicateur j entier, positif non nul. Des structures

résonantes « aiguille/buse » et « aiguille/actionneur » ainsi formées sont génératrices d'amplitudes élevées d'ouverture du clapet lors des faibles pressions, par exemple, égales ou inférieures à 5 MPa, dans la chambre de combustion. Au fur et à mesure que le carburant est injecté
5 lors d'un cycle de compression, la pression dans la chambre de combustion et, donc, une contre-pression au niveau du clapet, augmente. Cette contre-pression peut aussi varier en fonction du point de fonctionnement du moteur. Avec l'augmentation de la contre-pression, l'intensité des chocs de la première extrémité de l'aiguille sur son siège, même amortis par la nappe du carburant, devient de plus en plus importante. Le retour de ces chocs, d'une part, dans la structure résonante « aiguille/buse » en quart de longueur d'onde $[2n+1]*\tau/4$ classique et, d'autre part, dans l'autre structure résonante « aiguille/actionneur », induit un couplage entre le choc et une levée de
10 la première extrémité de l'aiguille de son siège en modifiant l'amplitude d'ouverture du clapet. Si les chocs perdurent, la levée de la tête devient chaotique. Le bénéfice des résonances se perd. L'ouverture du clapet devient chaotique traduisant ainsi un fonctionnement désordonné de l'injecteur ce qui peut rendre le débit du carburant difficile à contrôler.

20 Dans ce contexte, la présente invention a pour but de proposer un dispositif d'injection de fluide visant au moins à réduire l'une au moins des limitations précédemment évoquées. A cette fin, le dispositif d'injection, par ailleurs conforme à la définition générique qu'en donne le préambule ci-dessus, est essentiellement caractérisé en ce que la
25 longueur entre les deux limites du bloc est telle que le temps de propagation T des ondes acoustiques initiées par les vibrations de la deuxième partie de l'actionneur et parcourant cette longueur répond à l'équation suivante : $T = n*[\tau/2]$, à une tolérance près et où n est un coefficient multiplicateur, entier positif non nul.

30 Un tel agencement de l'injecteur doit permettre de tendre vers les résultats suivants : la structure résonante « aiguille/actionneur » comprend au moins un élément – l'actionneur formant ledit bloc – qui

présente une « symétrie » en termes acoustiques. Cela signifie qu'un écho d'une onde acoustique émise dans un endroit du bloc symétrique revient, après une ou plusieurs réflexions aux limites du bloc, dans ce même endroit d'émission de l'onde acoustique un nombre entier positif non nul de périodes après son émission. Par exemple, toute onde acoustique remontant l'aiguille du clapet vers l'actionneur et pénétrant dans ce dernier via la limite, dite première limite du bloc, entre l'aiguille et la première partie de l'actionneur, se propage axialement dans l'actionneur pour se réfléchir ensuite sur la limite, dite deuxième limite du bloc, opposée à ladite première limite. Grâce à la structure résonante symétrique de l'actionneur, une première onde réfléchie, c'est-à-dire, un premier écho de l'onde émise à la première limite, revient à cette même première limite une période plus tard après son émission. Il en est de même pour les ondes acoustiques, initiées par le matériau électroactif de la deuxième partie de l'actionneur et se propageant axialement vers l'aiguille, qui peuvent, à leur tour, se réfléchir sur la première limite, revenir dans l'actionneur pour se réfléchir à la deuxième limite, puis retourner à la première limite une période plus tard après leur départ de la première limite. La structure résonante symétrique de l'actionneur ne génère donc aucun retard, ni changement de signe des ondes – en particulier pour celle du type sinusoïdale où une partie de la sinusoïde en positive fait suite à une partie symétrique de la sinusoïde en négative – émises à la première limite quelque soit la provenance de ces ondes (de l'aiguille ou de l'actionneur). La structure résonante symétrique de l'actionneur contribue ainsi en un fonctionnement ordonné de l'injecteur.

Selon un deuxième de ses aspects, l'invention concerne un moteur à combustion interne utilisant le dispositif d'injection de fluide selon l'invention, c'est-à-dire un tel moteur où est disposé ce dispositif d'injection.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront clairement de la description qui en est faite ci-après, à titre

indicatif et nullement limitatif, en référence aux dessins annexés, dans lesquels :

la figure 1 est un schéma d'un dispositif d'injection selon l'invention agencé dans un moteur et équipé d'une aiguille à tête sortante liée à un actionneur,

la figure 2 est un schéma d'un dispositif d'injection selon l'invention agencé dans le moteur et équipé d'une aiguille à tête entrante liée à l'actionneur,

les figures 3 et 4 représentent des schémas illustrant un fonctionnement du clapet formé par une buse et une aiguille à tête sortante : clapet fermé (figure 3) ; clapet ouvert (figure 4),

les figures 5 et 6 représentent des schémas illustrant un fonctionnement du clapet formé par une buse et une aiguille à tête entrante : clapet fermé (figure 5) ; clapet ouvert (figure 6),

les figures 7 et 8 représentent respectivement de manière schématique en vue simplifiée de côté en coupe longitudinale partielle : une aiguille monobloc en forme d'une barre cylindrique (figure 7) ; une aiguille composée comprenant trois segments (figure 8),

les figures 9 et 10 représentent respectivement de manière schématique en vue simplifiée de côté en coupe longitudinale partielle : une buse monobloc cylindrique (figure 9) ; une buse composée comprenant trois segments (figure 10),

la figure 11 représente de manière schématique l'actionneur en vue simplifiée de côté en coupe longitudinale,

la figure 12 représente de manière schématique une première partie de l'actionneur liée avec l'aiguille en vue partielle simplifiée de côté,

les figures 13-15 représentent de manière schématique en vues

simplifiées de côté en coupe longitudinale respectivement trois différents schémas de l'actionneur,

la figure 16 représente de manière schématique en vue simplifiée de côté en coupe longitudinale l'actionneur comprenant une
5 tige centrale,

la figure 17 représente de manière schématique en vue simplifiée de côté en coupe longitudinale l'actionneur comprenant la tige centrale, un moyen de précontrainte et un moyen élastique.

Le dispositif d'injection, ou injecteur, des figures 1 (ou 2) est
10 destiné à injecter un fluide, par exemple, un carburant 131 dans une chambre de combustion 15 d'un moteur 151 à combustion interne, ou dans un conduit d'admission d'air non représenté, ou dans un conduit des gaz d'échappement non représenté.

L'injecteur comporte deux corps, par exemple, cylindriques. Un
15 premier corps représentant un boîtier 1, est prolongé, selon un axe privilégié AB du dispositif d'injection, par exemple, son axe de symétrie, par au moins une buse 3 présentant une longueur suivant l'axe AB et comportant un orifice d'injection et un siège 5 (ou 5'). Les dimensions linéaires du boîtier 1, par exemple, sa largeur mesurée
20 perpendiculairement à l'axe AB et/ou sa longueur mesurée le long de l'axe AB, peuvent être supérieures à celles de la buse 3. La masse volumique du boîtier 1 peut être supérieure à celle de la buse 3. Le boîtier 1 peut être relié à au moins un circuit 130 de carburant 131 par l'intermédiaire d'au moins une ouverture 9. Le circuit 130 de carburant
25 131 comprend un dispositif de traitement 13 du carburant 131 comportant, par exemple, un réservoir, une pompe, un filtre.

Un deuxième corps représentant un actionneur 2 est monté mobile axialement dans le boîtier 1. Une aiguille 4 présente, suivant
30 l'axe AB, une longueur et une première extrémité 6 définissant un clapet, dans une zone de contact avec le siège 5 (ou 5') de la buse 3.

Les dimensions linéaires de l'actionneur 2, par exemple, sa largeur mesurée perpendiculairement à l'axe AB et/ou sa longueur mesurée le long de l'axe AB, peuvent être supérieures à celles de l'aiguille 4. La masse volumique de l'actionneur 2 peut être supérieure à celle de l'aiguille 4. L'aiguille 4 et l'actionneur 2 sont liés entre eux par une zone de jonction ZJ (figure 2). La première extrémité 6 est, de préférence, prolongée longitudinalement, suivant l'axe AB, à l'opposé de l'actionneur 2, par une tête 7 (ou 7') obturant le siège 5 (ou 5'), de manière à assurer une meilleure étanchéité du clapet de l'injecteur.

La figure 1 illustre le cas de l'aiguille 4 avec la tête 7 dite sortante. L'aiguille 4 à tête sortante 7 présente une forme évasée divergente dans un sens de l'axe AB de l'injecteur orienté du boîtier 1 vers l'extérieur de la buse 3 dans la chambre de combustion 15. De préférence, l'aiguille 4 à tête sortante 7 présente une forme évasée divergente tronconique (figure 1). La tête sortante 7 obture le siège 5 du côté extérieur de la buse 3 orienté à l'opposé du boîtier 1, dans le sens de l'axe AB de l'injecteur.

La figure 2 illustre le cas de l'aiguille 4 avec la tête 7' dite entrante. L'aiguille 4 à tête entrante 7' va en rétrécissant dans le sens de l'axe AB orienté du boîtier 1 vers l'extérieur de la buse 3 et obture le siège 5' du côté intérieur de la buse 3 orienté vers le boîtier 1.

Des moyens de rappel 11 (ou 11') de l'actionneur 2 peuvent être prévus pour maintenir la tête 7 (ou 7') de l'aiguille 4 en appui contre le siège 5 (ou 5') de la buse 3. Ainsi, les moyens de rappel 11 (ou 11') assurent la fermeture du clapet quelle que soit la pression dans la chambre de combustion 15. La localisation du point d'application des forces de rappel sur l'actionneur 2 est indifférente. Les moyens de rappel 11 (ou 11') peuvent être représentés par un ressort en spirale précontraint disposé selon l'axe AB en aval du boîtier 1 (en particulier dans le cas de l'aiguille 4 avec la tête sortante 7, figure 1) ou en amont du boîtier 1 (en particulier dans le cas de l'aiguille 4 avec la tête entrante 7', figure 2) par rapport au sens d'écoulement du carburant

131 vers la buse 3. Les moyens de rappel 11 (ou 11') peuvent aussi être formés par un moyen fluide, par exemple, de type vérin hydraulique, avec le carburant 131 comme liquide de travail. Les jeux dus aux dilatations des différents éléments du boîtier 1 sont ainsi
5 avantageusement rattrapés par les moyens de rappel 11 (ou 11') de sorte que le débit du carburant 131 à travers la buse 3 tende à rester insensible aux variations thermiques lors des différents régimes de fonctionnement du moteur 151.

Dans l'exemple sur la figure 1, les moyens de rappel 11 sont
10 susceptibles de se déformer, par exemple, élastiquement, en exerçant une force prédéterminée pour un très faible allongement, par exemple, inférieur à 100 μm , de manière à tirer la tête sortante 7 de l'aiguille 4 contre le siège 5 de la buse 3 suivant l'axe AB afin d'assurer la fermeture du clapet quelle que soit la pression dans la chambre de
15 combustion 15.

Dans l'exemple sur la figure 2, les moyens de rappel 11' sont susceptibles de se déformer, par exemple, élastiquement, en exerçant une force prédéterminée pour un très faible allongement, par exemple, inférieur à 100 μm , de manière à pousser la tête 7' de l'aiguille 4 contre
20 le siège 5' de la buse 3 suivant l'axe AB afin d'assurer la fermeture du clapet quelle que soit la pression dans la chambre de combustion 15.

L'actionneur 2 est prolongé, selon l'axe AB, par l'aiguille 4. En sa qualité de « maître », l'actionneur 2 est agencé pour une directe mise en vibration de l'aiguille 4, « esclave », avec une période de
25 consigne τ , en assurant ainsi entre la première extrémité 6 de l'aiguille 4 et le siège 5 (ou 5') de la buse 3 un mouvement axial relatif propre à ouvrir et à fermer alternativement le clapet, comme illustrés sur les figures 3-4 et 5-6. Les vibrations s'opèrent avec une fréquence ν prédéterminée, par exemple, ultrasonore pouvant s'étaler d'environ $\nu =$
30 20 kHz à environ $\nu = 60$ kHz, c'est-à-dire, avec la période de consigne τ de vibrations comprise respectivement entre 50 microsecondes et 16 microsecondes. A titre d'exemple pour un acier, une longueur d'onde λ

de vibrations est d'environ 10^{-1} m à $v = 50$ kHz ($\tau = 20$ microsecondes).

Il est à noter que la tête entrante 7' étant rétrécie (figure 2), sa surface est moins exposée, comparée à celle de la tête sortante 7 (figure 1), aux ondes de contre-pression dans la chambre de combustion 15. De même, la tête entrante 7' présente une masse allégée comparée à celle de la tête sortante 7, ce qui minimise l'amplitude des contraintes sur le siège 5' (comparée à celle de la tête sortante 7) au moment d'un choc accompagnant une fermeture du clapet. L'assemblage de l'injecteur est facilité car l'aiguille 4 à tête entrante 7' peut d'abord être montée sur l'actionneur 2, puis être insérée dans le boîtier 1. L'aiguille 4 à la tête entrante 7' tend à se poser sur le siège 5' sous l'effet de la pesanteur. L'injecteur fonctionne donc en sécurité positive moyennant une conception adaptée. En cas d'une défectuosité des moyens de rappel 11' de l'actionneur 2, voire même en leur absence, le clapet reste en position fermée en assurant ainsi l'étanchéité de l'injecteur à tête entrante 7'. De plus, une rupture accidentelle de l'aiguille 4 fait que sa portion brisée reste dans le boîtier 1 sans risque de tomber dans la chambre de combustion 15.

L'actionneur 2 comportant, selon l'axe AB, une première 21, une deuxième 22 et une troisième 23 parties adaptées à être traversées par des ondes acoustiques initiées par des vibrations de la deuxième partie 22, les première 21 et troisième 23 parties étant disposées axialement de part et d'autre de la deuxième partie 22 (figures 1-2). Cette dernière comprend un matériau électroactif 221. Les trois parties 21, 22, 23 sont serrées ensemble pour former un bloc présentant axialement deux limites opposées C, D, la première partie 21 étant liée avec l'aiguille 4 à l'endroit d'une D des dites limites C, D.

De préférence, la troisième partie 23 se présente comme une masse arrière jouant un rôle de répartition homogène des contraintes sur le matériau électroactif 221.

De préférence, le matériau électroactif 221 est piézoélectrique

qui peut se présenter comme, par exemple, une ou plusieurs rondelles piézoélectriques céramiques empilées axialement les unes sur les autres pour former la deuxième partie 22 du bloc. Les déformations sélectives du matériau électroactif 221, par exemple, les déformations périodiques avec la période de consigne τ , générant les ondes acoustiques dans l'injecteur aboutissent in fine au mouvement relatif de la tête 7 (ou 7') par rapport au siège 5 (ou 5') ou vice versa, propre à ouvrir et à fermer alternativement le clapet, comme évoqué ci-dessus en rapport avec les figures 3-4 et 5-6. Ces déformations sélectives sont pilotées par des moyens d'excitation 14 correspondants, par exemple, à l'aide d'un champ électrique créé par une différence de potentiel appliqué à des électrodes solidaires du matériau électroactif 221 piézoélectrique. De manière alternative, le matériau électroactif 221 peut être magnétostrictif. Les déformations sélectives de ce dernier sont pilotées par des moyens d'excitation correspondants non représentés, par exemple, à l'aide d'une induction magnétique résultant d'un champ magnétique sélectif obtenu à l'aide, par exemple, d'un excitateur non représenté, et, en particulier, par une bobine solidaire de l'actionneur 2 ou par une autre bobine entourant l'actionneur 2.

Il résulte de développements ci-dessus que la buse 3 avec le boîtier 1 et l'aiguille 4 avec l'actionneur 2 forment respectivement un premier et un deuxième milieux de propagation d'ondes acoustiques. Chacun de ces deux milieux présente au moins une impédance acoustique linéaire l qui dépend d'une surface Σ d'une section du milieu perpendiculaire à l'axe AB, d'une masse volumique ρ du milieu et d'une célérité c du son dans le milieu : $l = f_l(\Sigma, \rho, c)$. Pour illustrer ce rapport, examinons différents exemples simplifiés sur les figures 7-8 et 9-10 portant respectivement sur l'aiguille 4 ou la buse 3. A des fins de simplification, il est entendu que, pour tous ces exemples, l'actionneur 2 et le deuxième corps sont confondus. Pour obtenir une ouverture du clapet de l'injecteur peu sensible à la pression dans la chambre de combustion 15, l'injecteur pilote en déplacement la première extrémité 6 de l'aiguille 4, tandis que le siège (représenté de manière simplifiée sur

les figures 7-10 et référencé 50) de la buse 3 est maintenu dynamiquement immobile ou fixe en se comportant ainsi comme un nœud de déplacement.

L'aiguille 4 et la buse 3 se présentent chacun comme un corps dont les dimensions radiales perpendiculaires à l'axe AB sont faibles par rapport à sa longueur le long de l'axe AB. Dans une barre pleine 400 citée ici comme un modèle simplifié de l'aiguille 4 (figure 7) ou dans une barre percée 300 longitudinalement citée ici comme un modèle simplifié de la buse 3 (figure 9), la propagation des ondes acoustiques associe la propagation d'un saut de tension (force) ΔF_0 et d'un saut de vitesse Δv à l'aide d'une équation : $\Delta F_0 = \Sigma \Delta \sigma = \Sigma z \Delta v$, où Σ est une surface d'une section de la barre perpendiculaire à son axe privilégié AB, par exemple, son axe de symétrie, $\Delta \sigma = z \Delta v$ est un saut de contrainte, z est une impédance acoustique définie par une équation : $z = \rho c$ où ρ est une masse volumique de la barre et c est une célérité du son dans la barre. Il est entendu que la tension F_0 est positive pour une compression et la vitesse v est positive dans le sens de propagation des ondes acoustiques. Le produit $I = \Sigma z = \Sigma \rho c$ représentatif des propriétés acoustiques de la barre – pleine ou creuse – est appelé « impédance linéaire acoustique » ou « impédance linéaire ».

Toute variation d'impédance acoustique linéaire I induit un écho, c'est-à-dire, un affaiblissement de l'onde acoustique se propageant dans un sens de la barre (par exemple, de droite à gauche sur les figures 7, 9) par une autre onde acoustique se propageant en sens inverse de la barre (par exemple, de gauche à droite sur les figures 7, 9) à partir d'un point de variation d'impédance linéaire I , par exemple, au niveau d'une jonction entre l'aiguille 4 et l'actionneur 2 (figure 7) ou au niveau d'une autre jonction entre la buse 3 et le boîtier 1 (figure 9). Ce même raisonnement est applicable à toute rupture d'impédance linéaire I , le terme « rupture » devant être compris comme « une variation d'impédance linéaire I dépassant un seuil prédéterminé représentatif d'une différence entre l'impédance linéaire en amont et

celle en aval, par rapport au sens de propagation des ondes acoustiques, d'une zone de rupture d'impédance linéaire située dans un milieu de propagation des ondes acoustiques sur une distance faible devant la longueur d'onde, de préférence, inférieure à une huitième de la longueur d'onde $\lambda/8$ ».

L'injecteur peut comprendre au moins une zone de rupture d'impédance acoustique linéaire, existant à distance de la zone de contact du siège 50 avec la première extrémité 6 de l'aiguille 4 le long de la buse 3 (figure 9) ou du boîtier 1, et au moins une autre zone de rupture d'impédance acoustique linéaire existant à distance de la zone de contact de la première extrémité 6 avec le siège 50 le long de l'aiguille 4 (figure 7) ou de l'actionneur 2. Lesdites zone et autre zone de rupture d'impédance acoustique linéaire étant chacune première dans l'ordre à partir de ladite zone de contact entre la première extrémité 6 de l'aiguille 4 et le siège 50, dans un sens de propagation des ondes acoustiques orienté respectivement vers le boîtier 1 et l'actionneur 2.

Comme illustré schématiquement sur la figure 1 (ou 2), la distance, dite première distance L_B , entre, d'une part, la zone de contact entre le siège 5 (ou 5') et la première extrémité 6, et, d'autre part, la première zone de rupture d'impédance acoustique linéaire le long de la buse 3 ou du boîtier 1, est telle que le temps de propagation, dit « temps de vol acoustique » T_B , des ondes acoustiques initiées par l'actionneur 2 et parcourant cette première distance $L_B = f_B(T_B)$ répond à l'équation suivante :

$$T_B = n_B * [\tau/2], \quad (E1)$$

où n_B est un coefficient multiplicateur, entier positif non nul, dit premier coefficient multiplicateur, et la distance, dite deuxième distance L_A , entre, d'une part, la zone de contact entre la première extrémité 6 et le siège 5 (ou 5'), et, d'autre part, la première zone de rupture d'impédance acoustique linéaire le long de l'aiguille 4 ou de l'actionneur

2, est telle que le temps de propagation, dit « temps de vol acoustique » T_A , des ondes acoustiques initiées par l'actionneur 2 et parcourant cette deuxième distance $L_A = f_A(T_A)$ répond à l'équation suivante :

$$T_A = n_A * [\tau/2], \quad (E2)$$

5 où n_A est un autre coefficient multiplicateur, entier positif non nul, dit deuxième coefficient multiplicateur, par exemple, $n_A \neq n_B$.

On doit comprendre que les équations référencées E1 et E2 ci-dessus doivent être considérées comme vérifiées à une certaine tolérance près pour tenir compte de contraintes de fabrication, par exemple, à une tolérance de l'ordre de plus ou moins 10% de la période de consigne τ , c'est-à-dire, de l'ordre de plus ou moins 20% de la demi-période de consigne $\tau/2$. En prenant en considération cette tolérance, les équations référencées E1 et E2 ci-dessus peuvent respectivement être réécrites comme suit :

$$15 \quad T_B = n_B * [\tau/2] \pm 0.2 * [\tau/2] \quad (E1')$$

$$T_A = n_A * [\tau/2] \pm 0.2 * [\tau/2] \quad (E2')$$

Il est à noter qu'en pratique, la première distance $L_B = f_B(T_B)$ exprimée en temps de vol acoustique T_B et la deuxième distance $L_A = f_A(T_A)$ exprimée en temps de vol acoustique T_A , mesurées sur des pièces correspondantes fabriquées à l'échelle industrielle, peuvent présenter des légères variations par rapport aux valeurs de référence calculées à l'aides des équations E1 et E2 ci-dessus. Ces légères variations peuvent être dues à un effet de masses rapportées. Ces dernières peuvent correspondre, par exemple, à la tête 7 (ou 7') de l'aiguille 4 et/ou à un bossage de guidage (non représenté) dans un plan perpendiculaire à l'axe AB de l'extrémité 6 de l'aiguille 4 dans la buse 3. Ladite tolérance permet de prendre en compte ledit effet de masses rapportées de manière à corriger les expressions en temps de vol acoustique de la première $L_B = f_B(T_B)$ et de la deuxième $L_A = f_A(T_A)$ distances à l'aide des équations E1' et E2' ci-dessus.

De préférence, $n_A = n_B$ pour le deuxième et le premier coefficients multiplicateurs avec, en particulier, $n_A = n_B = 1$ afin de minimiser les dimensions linéaires de l'injecteur selon l'axe AB pour laisser un maximum de place à des conduits d'admission et/ou d'échappement. Ainsi, partant de la zone de contact entre le siège 5 (ou 5') et la première extrémité 6 de l'aiguille 4, la buse 3 présente des propriétés acoustiques constantes sur des successions de longueur représentative de la première distance $L_B = f_B(T_B)$ sensiblement égales les unes aux autres en temps de vol acoustique et dont l'expression en temps de vol acoustique T_B se résume, de préférence, à une seule demi-période de consigne $\tau/2$. De même, partant de la zone de contact entre le siège 5 (ou 5') et la première extrémité 6 de l'aiguille 4, cette dernière présente des propriétés acoustiques constantes sur des successions de longueur représentative de la deuxième distance $L_A = f_A(T_A)$ sensiblement égales les unes aux autres en temps de vol acoustique et dont l'expression en temps de vol acoustique T_A se résume, de préférence, à une seule demi-période de consigne $\tau/2$.

Pour faciliter son assemblage, sur au moins 90% de la première distance $L_B = f_B(T_B)$, l'injecteur peut présenter une variation d'impédance acoustique linéaire inférieure ou égale à 5% sans que cette variation puisse être considérée comme une rupture d'impédance acoustique linéaire. De même, sur au moins 90% de la deuxième distance $L_A = f_A(T_A)$, l'injecteur peut présenter une autre variation d'impédance acoustique linéaire inférieure ou égale à 5% sans que cette variation puisse être considérée comme une rupture d'impédance acoustique linéaire.

Lors d'un régime établi de son fonctionnement, c'est-à-dire, lors du fonctionnement à une température prédéterminée hors phases de démarrage et d'arrêt de l'injecteur, ce dernier permet avantageusement d'ouvrir et de fermer alternativement le clapet de manière peu sensible à la pression dans la chambre de combustion 15. Dans l'exemple illustré sur la figure 1, il s'agit, à la fois, de piloter en déplacement la

première extrémité 6 prolongée de la tête 7 de l'aiguille 4 et de maintenir dynamiquement immobile le siège 5 de la buse 3. Comme mentionné ci-dessus, le pilotage en déplacement de la tête 7 de l'aiguille 4 s'opère grâce aux déformations sélectives, par exemple, périodiques avec la période de consigne τ , du matériau électroactif 221 transmises à l'aiguille 4 par l'intermédiaire de l'actionneur 2. Le maintien du siège 5 dynamiquement immobile est obtenu grâce au maintien de sa vitesse longitudinale suivant l'axe AB égale à zéro, en profitant de la périodicité du phénomène de la propagation des ondes acoustiques. Chaque fermeture du clapet lors des atterrissages périodiques avec la période de consigne τ de la tête 7 de l'aiguille 4 sur le siège 5, produit un choc. Ce dernier génère une onde acoustique, dite onde incidente, associant un saut de vitesse Δv et un saut de contrainte $\Delta \sigma$. Cette onde se propage dans la buse 3 vers le boîtier 1 en parcourant la première distance L_B , puis se réfléchit dans la première zone de rupture d'impédance acoustique linéaire qui est confondue sur la figure 1 avec un endroit d'encastrement SX de la buse 3 dans le boîtier 1 de section, dans un plan perpendiculaire à l'axe AB, bien plus grande que celle de la buse 3. Une fois l'onde incidente réfléchi, son écho, dit onde réfléchi, retourne dans la buse 3 pour parcourir la première distance L_B en sens inverse, c'est-à-dire, du boîtier 1 vers le siège 5. L'onde réfléchi présente le même signe du saut de contrainte $\Delta \sigma$ que l'onde incidente et le signe inverse du saut de vitesse Δv que l'onde incidente (le sens de propagation s'étant inversé, le saut de vitesse Δv a changé de signe si on considère maintenant toutes les vitesses positives dans le sens arrivant sur le siège 5 et non plus dans le sens de propagation des ondes). Compte tenu que la première distance est conditionnée de préférence par l'équation : $L_B = f_B(T_B) = f_B(n_B * [\tau/2])$, l'onde réfléchi arrive sur le siège 5 exactement au même moment qu'une nouvelle onde incidente est produite par le choc dû à la fermeture du clapet, le déplacement de la tête 4 de l'aiguille 4 étant conditionné, lui aussi, par la deuxième distance L_A dépendante de préférence d'un multiple de la demi-période de consigne $\tau/2$: $L_A = f_A(T_A) = f_A(n_A * [\tau/2])$. Il en résulte que, dans le

siège 5, les contraintes sont maintenues et les vitesses sont annulées. Le siège 5 présente donc un nœud de déplacement. Dans ces conditions, une variation de la pression dans la chambre de combustion 15 va induire une amplification des chocs mais sans modifier leur synchronisme. Le fonctionnement de l'injecteur ne sera donc pas affecté par cette variation de pression dans la chambre de combustion 15.

Pour obtenir l'identité des sauts de contrainte $\Delta\sigma$ lorsque les deux ondes correspondantes, incidente et réfléchie, se croisent, il faut que la réflexion des ondes acoustiques au niveau de la première zone de rupture d'impédance soit la plus grande possible. Cette condition de réflexion quasi-totale est a priori satisfaite pour la buse 3 encastrée dans le boîtier 1 lié à son tour avec une culasse 8, cette configuration pouvant être assimilée avec un cas idéal d'une barre de diamètre fini (de type poutre) encastrée dans un corps infini. Compte tenu de la taille finie de l'actionneur 2, la réflexion totale des ondes acoustiques dans la zone de jonction ZJ entre l'aiguille 4 et l'actionneur 2 est difficile à obtenir. Dans l'exemple illustré sur la figure 2, dans la zone de jonction ZJ l'actionneur 2 présente une impédance acoustique linéaire I_{AC-ZJ} et l'aiguille 4 présente une autre impédance acoustique linéaire I_{A-ZJ} . Un compromis satisfaisant en terme de réflexion des ondes acoustiques dans la zone de jonction ZJ peut être obtenu si le rapport I_{AC-ZJ} / I_{A-ZJ} est supérieur à une valeur prédéterminée. De préférence, la relation suivante est vérifiée : $I_{AC-ZJ} / I_{A-ZJ} \geq 2.5$.

A la lumière des précisions ci-dessus, il doit être compris que, dans le cas général pour le premier et le deuxième coefficients multiplicateurs tels que $n_B \neq n_A$, ce sont les ondes incidentes et les ondes réfléchies décalées de quelques périodes τ qui se compensent mutuellement dans le siège 5 pour le rendre dynamiquement fixe. Cette compensation peut ne pas être totale lorsque, par exemple, la différence entre n_B et n_A est supérieure à une valeur prédéterminée et/ou une dissipation des ondes acoustiques dans la buse 3 (et, in fine,

de son impédance acoustique linéaire), dépasse un certain seuil. C'est pourquoi, la configuration de l'injecteur avec $n_B = n_A$ et, notamment $n_B = n_A = 1$, apparaît comme a priori plus fiable sur le plan acoustique et reste à privilégier par rapport à celle où $n_B \neq n_A$.

5 Il doit être compris que la première $L_B = f_B(T_B)$ et la deuxième $L_A = f_A(T_A)$ distances respectivement en rapport avec le premier « buse 3 + boîtier 1 » et le deuxième « aiguille 4 + actionneur 2 » milieux de propagation des ondes acoustiques sont définies, de préférence à l'aide des temps de vol acoustique respectif $T_B = n_B * [\tau/2]$ et $T_A = n_A * [\tau/2]$,
10 dans un contexte acoustique. Ce dernier est dû à la présence des vibrations, par exemple, ultrasonores, de la période de consigne τ , initiées par la deuxième partie 22 de l'actionneur 2, comme évoquées ci-dessus. Autrement dit, la première $L_B = f_B(T_B)$ et la deuxième $L_A = f_A(T_A)$ distances sont comprises entre deux limites acoustiques. De
15 manière générale, une première limite acoustique servant à définir, à la fois la première L_B et la deuxième L_A distances, est représentée par une extrémité d'un ensemble en question (« buse 3 + boîtier 1 » ou « aiguille 4 + actionneur 2 »). De manière simplifiée, on peut considérer que cette première limite acoustique se confond avec la zone de
20 contact entre la première extrémité 6 de l'aiguille 4 (éventuellement prolongée axialement par la tête 7 (ou 7')) et le siège 5 (ou 5') de la buse 3, comme illustré sur la figure 1 (ou 2).

Dans l'exemple illustré sur la figure 1 avec l'aiguille 4 à tête sortante 7, il doit être compris que la première limite acoustique servant
25 pour déterminer la deuxième L_A distance en rapport avec le deuxième milieu « aiguille 4 + actionneur 2 » de propagation des ondes acoustiques, est prise à la mi-hauteur de la tête sortante 7 tronconique divergente. De même, la première limite acoustique servant pour déterminer la première distance $L_B = f_B(T_B)$ en rapport avec le premier
30 milieu « buse 3 + boîtier 1 » de propagation des ondes acoustiques est prise à la mi-hauteur du siège 5 tronconique divergente correspondant.

Dans l'exemple illustré sur la figure 2 avec l'aiguille 4 à tête

entrante 7', il doit être compris que la première limite acoustique servant pour déterminer la deuxième L_A distance en rapport avec le deuxième milieu « aiguille 4 + actionneur 2 » de propagation des ondes acoustiques, est prise à la mi-hauteur de la tête entrante 7' tronconique convergente. De même, la première limite acoustique servant pour déterminer la première distance $L_B = f_B(T_B)$ en rapport avec le premier milieu « buse 3 + boîtier 1 » de propagation des ondes acoustiques est prise à la mi-hauteur du siège 5' tronconique convergent correspondant.

La deuxième limite acoustique propre à chacun des deux ensembles est représentée par la respective première zone de rupture d'impédance acoustique linéaire l , comme détaillé ci-dessus. Par exemple, la deuxième limite acoustique peut correspondre à l'endroit où le diamètre de l'ensemble en question varie dans un plan perpendiculaire à l'axe AB, par exemple, au niveau de la zone de jonction ZJ de l'aiguille 4 avec la première partie 21 de l'actionneur 2 ou de l'endroit d'encastrement SX de la buse 3 dans le boîtier 1 (figure 1, 2), étant entendu que :

- dans la zone de jonction ZJ, l'aiguille 4 et l'actionneur 2 sont réalisés, par exemple, par un usinage dans une pièce monobloc en matériau présentant de préférence la même masse volumique et la même célérité du son, et
- dans l'endroit d'encastrement SX, la buse 3 et le boîtier 1 sont réalisés, par exemple, par un usinage dans une pièce monobloc en matériau présentant de préférence la même masse volumique et la même célérité du son.

En effet, l'usinage dans une pièce monobloc présente une solution la plus simple à mettre en œuvre lors d'une fabrication des dites pièces à l'échelle industrielle.

Cependant, dans certains cas, les limites acoustiques des

corps peuvent ne pas correspondre aux limites physiques des corps,
 comme le montre deux exemples ci-après. Comme illustré sur la figure
 10, au sein du premier milieu de propagation d'ondes acoustiques, sur
 ladite première distance L_B , il existe une pluralité de segments 301,
 5 302, 303 se différenciant les uns des autres par au moins deux critères
 parmi les trois critères suivants propres à chacun des segments 301,
 302, 303 : (a) géométrie du segment ; (b) masse volumique ρ du
 segment ; (c) célérité c du son dans le segment, les segments 301,
 302, 303 étant tels que leurs impédances acoustiques linéaires
 10 respectives – $l_{301} = \Sigma_{301} * \rho_{301} * c_{301}$; $l_{302} = \Sigma_{302} * \rho_{302} * c_{302}$; $l_{303} = \Sigma_{303} * \rho_{303} * c_{303}$ – sont égales : $l_{301} = l_{302} = l_{303}$. Ainsi, quelque soient leurs
 dimensions linéaires respectives, aucun écho parasite ne se produit
 dans des zones de jonction entre deux segments respectifs : 301/302,
 302/303, de sorte que la première distance L_B reste comprise entre le
 15 siège 50 et l'endroit d'encastrement SX de la buse 3 dans le boîtier 1
 (figure 10). Ainsi il est possible de réaliser la buse 3 en matériaux
 différents, en les combinant de manière à doter la buse 3 localement
 et/ou axialement des propriétés physiques sélectives (autres que celles
 acoustiques), propres à chacun des segments 301, 302, 303 (par
 20 exemple, en améliorant leur résistance aux chocs, en réduisant leur
 usure mécanique et/ou leur dilatation thermique), pourvu que leurs
 propriétés acoustiques le long de l'axe AB représentées par les
 impédances acoustiques linéaires respectives l_{301} , l_{302} , l_{303} restent les
 mêmes : $l_{301} = l_{302} = l_{303}$. Comme illustré sur la figure 8, au sein du
 25 deuxième milieu de propagation d'ondes acoustiques, sur ladite
 deuxième distance L_A , il existe une pluralité de segments 401, 402, 403
 se différenciant les uns des autres par au moins deux critères parmi les
 trois critères suivants propres à chacun des segments 401, 402, 403 :
 (a) géométrie du segment ; (b) masse volumique ρ du segment ; (c)
 30 célérité c du son dans le segment, les segments 401, 402, 403 étant
 tels que leurs impédances acoustiques linéaires respectives – $l_{401} = \Sigma_{401} * \rho_{401} * c_{401}$; $l_{402} = \Sigma_{402} * \rho_{402} * c_{402}$; $l_{403} = \Sigma_{403} * \rho_{403} * c_{403}$ – sont égales :
 $l_{401} = l_{402} = l_{403}$. Ainsi, quelque soient leurs dimensions linéaires
 respectives, aucun écho parasite ne se produit dans des zone de

jonction entre deux segments respectifs : 401/402, 402/403, de sorte que la deuxième distance L_A reste comprise entre le siège 50 et la zone de jonction ZJ de la l'aiguille 4 dans l'actionneur 2 (figure 8). Ainsi, il est possible de réaliser l'aiguille 4 en matériaux différents, en les combinant de manière à doter l'aiguille 4 localement et/ou axialement des propriétés physiques sélectives (autres que celles acoustiques) propres à chacun des segments 401, 402, 403 (par exemple, en améliorant leur résistance aux chocs, en réduisant leur usure mécanique et/ou leur dilatation thermique), pourvu que leurs propriétés acoustiques le long de l'axe AB représentées par les impédances acoustiques linéaires respectives l_{401} , l_{402} , l_{403} , restent les mêmes : $l_{401} = l_{402} = l_{403}$.

Comme illustré sur la figure 2, la zone de jonction ZJ entre l'aiguille 4 et l'actionneur 2 peut être formée du côté de l'actionneur 2 par au moins la première partie 21 de l'actionneur 2. La première partie 21 dispose, de préférence, d'une section circulaire d'un diamètre prédéterminé, dit diamètre D_{1-1} de la première partie 21, mesuré dans un plan perpendiculaire à l'axe AB. La zone de jonction ZJ entre l'aiguille 4 et l'actionneur 2 est formée du côté d'aiguille 4 par au moins un tronçon cylindrique de révolution d'un diamètre prédéterminé, dit diamètre D_4 de l'aiguille 4, mesuré dans un plan perpendiculaire à l'axe AB. De préférence, la première partie 21 et le tronçon cylindrique de l'aiguille 4 sont réalisés en matériau présentant une masse volumique ρ et une célérité c du son identiques. Le diamètre D_{1-1} de la première partie 21 de l'actionneur 2 et le diamètre D_4 de l'aiguille 4 sont reliés par l'inéquation suivante : $D_{1-1}/D_4 \geq \sqrt{2.5}$. Avantagement ce rapport de diamètres D_{1-1}/D_4 correspond à un « encastrement acoustique » acceptable de l'aiguille 4 dans l'actionneur 2. Grâce à cet encastrement acoustique acceptable, une onde incidente partant de la tête 7' de l'aiguille 4 et arrivant le long de l'aiguille 4 dans la zone de jonction ZJ (figure 2) s'y réfléchit avec un minimum des pertes d'amplitude et/ou de fréquence pouvant perturber l'ouverture et la fermeture du clapet avec la période de consigne de τ (et, donc, le pilotage en déplacement de la tête 7' de l'aiguille 4 évoqué ci-dessus).

Pour rendre l'injecteur encore plus performant en termes acoustiques, la longueur L entre les deux limites C, D du bloc formé par les trois parties 21, 22, 23 de l'actionneur 2 (figure 1-2) est telle que le temps de propagation T des ondes acoustiques initiées par les vibrations de la deuxième partie 22 de l'actionneur 2 et parcourant cette longueur L = f(T) répond à l'équation suivante :

$$T = n * [\tau/2], \quad (E3)$$

où n est un coefficient multiplicateur, entier positif non nul, dit troisième coefficient multiplicateur, par exemple, $n \neq n_B \neq n_A$. Par analogie avec la buse 3 et l'aiguille 4, l'actionneur 2 peut donc présenter une structure acoustique symétrique telle qu'un écho d'une onde acoustique émise dans un endroit du bloc symétrique tend à revenir, après une ou plusieurs réflexions aux limites du bloc, dans ce même endroit d'émission de l'onde acoustique un nombre entier positif non nul de périodes après son émission. Cette symétrie acoustique de l'actionneur 2 est particulièrement avantageuse lorsque l'encastrement acoustique de l'aiguille 4 dans l'actionneur 2 n'est pas parfait et l'onde incidente partant de la tête 7' de l'aiguille 4 et arrivant le long de l'aiguille 4 dans la zone de jonction ZJ (figure 2) arrive à pénétrer, après une réflexion partielle sur la première limite D de l'actionneur 2, dans ce dernier. Cependant, grâce à la symétrie acoustique de l'actionneur 2, l'écho de cette onde incidente revenant à la première limite 213 un nombre entier positif non nul de périodes après son émission, cela ne génère aucun retard, ni changement de signe des ondes émises à la première limite 213 de sorte que le mouvement alternatif de va-et-vient de l'aiguille 4 n'est pas perturbé.

Par analogie avec les équations référencées E1 et E2 ci-dessus, on doit comprendre que l'équation référencée E3 ci-dessus doit être considérée comme vérifiée à une certaine tolérance près pour tenir compte des contraintes de fabrication, par exemple, à une tolérance de l'ordre de plus ou moins 10% de la période de consigne τ , c'est-à-dire, de l'ordre de plus ou moins 20% de la demi-période de consigne $\tau/2$. En

prenant en considération cette tolérance, l'équation référencée E3 ci-dessus peut être réécrite comme suit :

$$T = n * [\tau/2] \pm 0.2 * [\tau/2] \quad (E3')$$

Il est à noter qu'en pratique, la longueur $L = f(T)$ exprimée en temps de vol acoustique T et mesurée sur des pièces correspondantes fabriquées à l'échelle industrielle, peut présenter des légères variations par rapport aux valeurs de référence calculées à l'aide de l'équation E3 ci-dessus. Ces légères variations peuvent être dues à un effet de masses rapportées. Ces dernières peuvent correspondre, par exemple, à des appendices ou à des usinages de préhension ou d'assemblage. Ladite tolérance permet de prendre en compte ledit effet de masses rapportées de manière à corriger l'expression en temps de vol acoustique de la longueur $L = f(T)$ à l'aide de l'équation E3' ci-dessus.

Pour les mêmes raisons que celles évoquées précédemment en rapport avec n_B et n_A , il est préférable que $n = n_B = n_A$ et, en particulier, $n = n_B = n_A = 1$.

Comme illustré sur la figure 11, la première partie 21 de l'actionneur 2 peut présenter axialement une première limite 213 confondue avec celle D où le bloc est lié à l'aiguille 4 et une deuxième limite 212 opposée, serrée contre le matériau électroactif 221 de la deuxième partie 22 de l'actionneur 2. De préférence, la première longueur L_1 mesurée entre lesdites première 213 et deuxième 212 limites, est telle que le temps de propagation T_1 des ondes acoustiques initiées par les vibrations de la deuxième partie 22 de l'actionneur 2 et parcourant cette première longueur $L_1 = f_1(T_1)$ répond à l'équation suivante :

$$T_1 = m * [\tau/2], \quad (E4)$$

où m est un coefficient multiplicateur, entier positif non nul, par exemple, $m \neq n \neq n_B \neq n_A$. Cette configuration est adaptée, par exemple, au cas où, outre l'encastrement acoustique imparfait de l'aiguille 4 dans

l'actionneur 2 déjà évoqué ci-dessus, l'actionneur 2 présente une nouvelle zone de rupture d'impédance acoustique linéaire à la deuxième limite 212. Grâce à la symétrie acoustique de la première partie 21 de l'actionneur 2, aucun retard, ni changement de signe des ondes émises à la première limite 213 n'est généré malgré leurs échos parasites produits par la nouvelle zone de rupture d'impédance acoustique linéaire à la deuxième limite 212, de sorte que les mouvements axiaux alternatifs de va-et-vient de l'aiguille 4 ne sont pas perturbés.

Par analogie avec les équations référencées E1 à E3 ci-dessus, on doit comprendre que l'équation référencée E4 ci-dessus doit être considérée comme vérifiée à une certaine tolérance près pour tenir compte de contraintes de fabrication, par exemple, à une tolérance de l'ordre de plus ou moins 10% de la période de consigne τ , c'est-à-dire, de l'ordre de plus ou moins 20% de la demi-période de consigne $\tau/2$. En prenant en considération cette tolérance, l'équation référencée E4 ci-dessus peut être réécrite comme suit :

$$T_1 = m * [\tau/2] \pm 0.2 * [\tau/2] \quad (E4')$$

Il est à noter qu'en pratique, la première longueur $L_1 = f_1(T_1)$ exprimée en temps de vol acoustique T_1 et mesurée sur des pièces correspondantes fabriquées à l'échelle industrielle, peut présenter des légères variations par rapport aux valeurs de référence calculées à l'aide de l'équation E4 ci-dessus. Ces légères variations peuvent être dues à un effet de masses rapportées. Ces dernières peuvent correspondre, par exemple, à des appendices ou à des usinages de préhension ou d'assemblage. Ladite tolérance permet de prendre en compte ledit effet de masses rapportées de manière à corriger l'expression en temps de vol acoustique de la première longueur $L_1 = f_1(T_1)$ à l'aide de l'équations E4' ci-dessus.

Pour les même raisons que celles évoquées précédemment en rapport avec n_B et n_A , il est préférable que $m = n_B = n_A$ et, en particulier,

$$m = n_B = n_A = 1.$$

De préférence, la deuxième longueur L_2 mesurée entre cette deuxième limite 212 et la limite C du bloc opposée axialement à l'aiguille 4, est telle que le temps de propagation T_2 des ondes acoustiques initiées par les vibrations de la deuxième partie 22 de l'actionneur 2 et parcourant cette deuxième longueur $L_2 = f_2(T_2)$ répond à l'équation suivante :

$$T_2 = k * [\tau/2], \quad (E5)$$

où k est un coefficient multiplicateur, entier positif non nul, par exemple, $k \neq m \neq n \neq n_B \neq n_A$. Cette configuration symétrique acoustiquement est adaptée, par exemple, au cas où, la nouvelle zone de rupture d'impédance acoustique linéaire à la deuxième limite 212 ne présente qu'une rupture partielle d'impédance acoustique linéaire, de sorte que les ondes acoustique remontant axialement la première partie 21 de l'actionneur arrivent à pénétrer, après leurs réflexions partielles sur la deuxième limite 212 de l'actionneur 2, dans sa deuxième partie 22 sans que cela perturbe un mouvement axial alternatif de la deuxième limite 212 et/ou celui de la première limite 213 et/ou, in fine, celui de l'aiguille 4.

Par analogie avec les équations référencées E1 à E4 ci-dessus, on doit comprendre que l'équation référencée E5 ci-dessus doit être considérée comme vérifiée à une certaine tolérance près pour tenir compte de contraintes de fabrication, par exemple, à une tolérance de l'ordre de plus ou moins 10% de la période de consigne τ , c'est-à-dire, de l'ordre de plus ou moins 20% de la demi-période de consigne $\tau/2$. En prenant en considération cette tolérance, l'équation référencée E5 ci-dessus peut être réécrite comme suit :

$$T_2 = k * [\tau/2] \pm 0.2 * [\tau/2] \quad (E5')$$

Il est à noter qu'en pratique, la deuxième longueur $L_2 = f_2(T_2)$ exprimée en temps de vol acoustique T_2 et mesurée sur des pièces

correspondantes fabriquées à l'échelle industrielle, peut présenter des légères variations par rapport aux valeurs de référence calculées à l'aide de l'équation E5 ci-dessus. Ces légères variations peuvent être dues à un effet de masses rapportées. Ces dernières peuvent correspondre, par exemple, à des appendices ou à des usinages de préhension ou d'assemblage. Ladite tolérance permet de prendre en compte ledit effet de masses rapportées de manière à corriger l'expression en temps de vol acoustique de la deuxième longueur $L_2 = f_2(T_2)$ à l'aide de l'équations E5' ci-dessus.

10 Pour les mêmes raisons que celles évoquées précédemment en rapport avec n_B et n_A , il est préférable que $k = n_B = n_A$ et, en particulier, $k = n_B = n_A = 1$.

Pour faciliter son assemblage à l'échelle industrielle, sur au moins 90% de la deuxième longueur L_2 , l'actionneur 2 présente une variation d'impédance acoustique linéaire inférieure ou égale à 5%. Grâce à cet agencement, il devient possible, par exemple, d'empiler les rondelles piézoélectriques céramiques constitutives de la deuxième partie 22 de l'actionneur 2 et présentant une légère variation de leurs tailles, par exemple, axiales, sans que cela crée un écart inadmissible en termes acoustiques pouvant perturber le fonctionnement ordonné de l'injecteur.

De préférence, la première partie 21 de l'actionneur 2 est destinée à transmettre les vibrations du matériau électroactif 221 à l'aiguille 4 en les amplifiant de manière que les déplacements de l'aiguille 4 au niveau du clapet soient supérieures à l'intégrale des déformations du matériaux électroactif 221. Toute section perpendiculaire à l'axe AB de la première partie 21 présente, suivant ledit axe AB, des déplacements produits par les ondes acoustiques parcourant la première partie 21 de sa deuxième limite 212 vers sa première limite 213. De préférence, la première partie 21 de l'actionneur 2 présente, suivant ledit axe AB, une variation d'impédance acoustique linéaire l_{21} telle que les déplacements axiaux d'une section

perpendiculaire à l'axe AB et située à la première limite 213 sont supérieurs à ceux de toute autre section de la première partie 21, l'impédance acoustique linéaire l_{21} de la première partie 21 étant définie par l'équation suivante : $l_{21} = \Sigma_{21} * \rho_{21} * c_{21}$, où Σ_{21} est une surface d'une section de la première partie 21 perpendiculaire à l'axe AB, ρ_{21} est une masse volumique dans la première partie 21, c_{21} est une célérité du son dans la première partie 21. Les déformations sélectives de la deuxième partie 22 de l'actionneur 2 induites par celles du matériau électroactif 221, sont alors amplifiées, de sorte à produire le plus grand déplacement possible à la première limite 213 de l'actionneur 2 et, par conséquent, à la première extrémité 6 de l'aiguille 4, cette première limite 213 devenant de ce fait un endroit appelé « ventre » où les vibrations (en particulier, les déplacements) sont amplifiées et maximales.

De préférence, la première partie 21 de l'actionneur 2 comprend au moins un segment tronconique qui se rétrécit, suivant l'axe AB, vers l'aiguille 4 (figures 11, 12). Le segment tronconique à variation de section dans un plan perpendiculaire à l'axe AB sensiblement linéaire ou exponentielle suivant l'axe AB, permet d'obtenir une amplification des déformations sélectives de la deuxième partie 22 de l'actionneur 2 induites par celles du matériau électroactif 221. Comparé à la première partie 21 de forme, par exemple, cylindrique (figure 13), celle comprenant le segment tronconique (figures 11-12) permet d'obtenir le même déplacement à la première limite D avec moins de rondelles piézoélectriques céramiques empilées axialement. Outre un gain de temps lors de l'assemblage de l'injecteur à l'échelle industrielle, cet agencement rend l'actionneur 2 plus fiable tant en terme de qualité d'assemblage qu'en terme d'une durée de vie, les rondelles piézoélectriques céramiques – fragiles par nature – présentant intrinsèquement un risque de cassure et/ou de fissuration. De préférence, la distance H, suivant l'axe AB, entre une section quelconque EF du segment tronconique perpendiculaire à l'axe AB et une pointe imaginaire P du segment tronconique (figure 12), répond à

l'inéquation suivante : $H > 0.22 \cdot c \cdot \tau$. Grâce à cet agencement, une dispersion des ondes acoustiques observées dans le segment tronconique amplifiant le déplacement reste acceptable, de manière à ne pas perturber le fonctionnement ordonné de l'injecteur.

5 Comme détaillé précédemment, l'actionneur 2 est réalisé en plusieurs parties 21, 22, 23 pouvant se différencier les unes des autres par leur géométrie et/ou par leur masse volumique ρ et/ou par la célérité c du son propre à chacune d'elle (figure 13-17). C'est pourquoi, pour réaliser l'injecteur avec l'actionneur 2 présentant, par exemple, 10 l'impédance acoustique linéaire l prédéterminée, de préférence, constante, par exemple, sur sa longueur L entre les deux limites C, D, et/ou sur sa première longueur L_1 , et/ou sur sa deuxième longueur L_2 , lesdites parties 21, 22, 23 de l'actionneur 2 peuvent présenter respectivement des sections de surfaces différentes dans des plans 15 perpendiculaires à l'axe AB, de manière à compenser des éventuelles variations de l'impédance acoustique linéaire l par celles de la surface Σ des sections correspondantes perpendiculaires à l'axe AB. Un premier exemple est représenté sur les figures 14-15 et porte sur la troisième 23 et la deuxième 22 parties de l'actionneur 2 présentant respectivement des sections D_3 et D_{2-3} de surfaces différentes dans des 20 plans perpendiculaires à l'axe AB. Un deuxième exemple est représenté sur la figure 16 et porte sur la première 21 et la deuxième 22 parties de l'actionneur 2 présentant respectivement des sections D_{1-2} et D_{2-1} de surfaces différentes dans des plans perpendiculaires à l'axe AB. 25 Un troisième exemple est représenté sur les figures 14-15 et porte sur la première partie 21 de l'actionneur 2 et l'aiguille 4 présentant respectivement des sections D_{1-1} et D_4 de surfaces différentes dans des plans perpendiculaires à l'axe AB. Pour pouvoir assurer une répartition la plus homogène possible des contraintes entre les parties de sections 30 différentes, des segments de raccordement entre les trois parties 21, 22, 23 de l'actionneur 2 et/ou entre la première partie 21 et l'aiguille 4 peuvent être prévus. De préférence, la troisième partie 23 peut comprendre un segment de raccordement 230 avec la deuxième partie

22 présentant axialement une longueur L_{A3} telle que le temps de propagation T_{A3} des ondes acoustiques initiées par les vibrations de la deuxième partie 22 de l'actionneur 2 et parcourant cette longueur $L_{A3} = f_{A3}(T_{A3})$ répond à l'inéquation suivante : $T_{A3} < \tau/10$ (figures 14-15).
5 Grâce à cet agencement, la répartition la plus homogène possible des contraintes entre la troisième partie 23 et la deuxième partie 22 est obtenue sur des longueurs $L_{A3} = f_{A3}(T_{A3})$ limitées.

De préférence, la première partie 21 comprend un segment de raccordement 211 avec la deuxième partie 22 présentant axialement
10 une longueur L_{A2} telle que le temps de propagation T_{A2} des ondes acoustiques initiées par les vibrations de la deuxième partie 22 de l'actionneur 2 et parcourant cette longueur $L_{A2} = f_{A2}(T_{A2})$ répond à l'inéquation suivante : $T_{A2} < \tau/10$ (figure 17). Grâce à cet agencement, la répartition la plus homogène possible des contraintes entre la
15 première partie 21 et la deuxième partie 22 est obtenue sur des longueurs $L_{A2} = f_{A2}(T_{A2})$ limitées.

De préférence, la première partie 21 comprend un segment de raccordement 210 avec l'aiguille 4 présentant axialement une longueur
20 L_{A1} telle que le temps de propagation T_{A1} des ondes acoustiques initiées par les vibrations de la deuxième partie 22 de l'actionneur 2 et parcourant cette longueur $L_{A1} = f_{A1}(T_{A1})$ répond à l'inéquation suivante : $T_{A1} < \tau/20$. Grâce à cet agencement, les concentrations de contraintes sont réduites entre la première partie 21 et l'aiguille 4. Ce résultat est obtenu sur des longueurs $L_{A2} = f_{A2}(T_{A2})$ très réduites, de manière à
25 assurer un encastrement acceptable sur le plan acoustique discuté ci-dessus de l'aiguille 4 dans l'actionneur 2.

Les segments de raccordement 210, 211, 230 peuvent présenter une forme tronconique, avec par exemple un demi-angle au sommet de 45° . Cette géométrie tronconique est la plus facile à réaliser
30 en terme d'usinage. Cependant, cette géométrie tronconique n'est pas limitative. On peut également envisager les segments de raccordement 210, 211, 230 se présentant comme des pièces de révolution limitées

par deux plans perpendiculaires à un axe privilégié, par exemple leur axe de symétrie, et une surface engendrée par la rotation d'une courbe définie dans un plan contenant ledit axe. Cette courbe peut être de type sigmoïde et/ou de type exponentiel.

5 Pour faciliter l'assemblage de l'actionneur 2 à l'échelle industrielle, la première partie 21 de l'actionneur 2 peut être prolongée, suivant l'axe AB, à l'opposé de l'aiguille 4, par une tige centrale 40 rapportée (figure 16) ou non (figure 17). Dans cette configuration, la deuxième 22 et la troisième 23 parties de l'actionneur 2 sont enfilées
10 sur la tige centrale 40. La tige centrale 40 peut disposer d'un filetage pour faciliter le serrage des trois parties 21, 22, 23 de l'actionneur 2 entre elles à l'aide, par exemple, d'un moyen de précontrainte 250 comprenant, de préférence, un écrou fileté. Dans un mode de réalisation moins privilégié (non représenté), la troisième partie 23 et le
15 moyen de précontrainte 250 peuvent être confondus. Dans ce cas, la troisième partie 23 peut disposer d'un filetage adapté pour se visser directement sur la tige centrale 40 en assurant ainsi la précontrainte du matériau électroactif 221 de la deuxième partie 22 de l'actionneur 2. Dans un autre mode de réalisation moins privilégié (non représenté), la
20 troisième partie 23, le moyen de précontrainte 250 et la deuxième partie 22 peuvent être confondus.

De préférence, la tige centrale 40 présente une dilatation thermique (en particulier un coefficient de dilatation thermique) sensiblement identique à celle du matériau électroactif 221 de la
25 deuxième partie 22 de l'actionneur 2 (figure 16). Le matériau électroactif 221, par exemple, céramique, ayant un coefficient de dilatation thermique extrêmement faible, la tige 40 devra également avoir un coefficient de dilatation thermique extrêmement faible, par exemple, égal à environ $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$. Par exemple, pour le matériau électroactif 221 céramique, la tige centrale 40 peut être réalisée en un
30 alliage de fer et de nickel avec de carbone et de chrome, par exemple, en alliage de type « invar ». Grâce à cet agencement, la précontrainte

du matériau électroactif 221 tend à rester constante indépendamment des variations de température de l'injecteur. La même dilatation des deux matériaux (matériau électroactif 221 et celui de la tige centrale 40) assure une compensation thermique des dilatations dues aux variations de température de l'injecteur. L'assemblage de l'actionneur 2 devient plus rapide car ne nécessite aucun autre moyen pour compenser lesdites dilatations des deux matériaux. De préférence, la tige centrale 40 présente une dilatation thermique sensiblement égale à la somme des dilatations thermiques du matériau électroactif 221 (céramique), de la troisième partie 23 et de la première partie 21 n'induisant pas de variations de contraintes dans le matériau électroactif 221, par exemple, céramique, supérieures à 5 MPa pour 100°C de variation de température de l'injecteur.

De manière alternative, la tige centrale 40 peut présenter une dilatation thermique (en particulier un coefficient de dilatation thermique) différente de celle du matériau électroactif 221 de la deuxième partie 22 de l'actionneur 2 (figure 17), et, en particulier, différente de la somme des dilatations thermiques du matériau électroactif 221 (céramique), de la troisième partie 23 et de la première partie 21. Par exemple, la tige centrale 40 peut présenter le coefficient de dilatation thermique supérieur à celui du matériau électroactif 221 de la deuxième partie 22 de l'actionneur 2. Dans ce cas, le moyen de précontrainte 250 lié avec la tige centrale 40 et adapté à serrer les trois parties 21, 22, 23 de l'actionneur 2 ensemble, est lié, par l'intermédiaire d'un moyen élastique 251 (par exemple, au moins un joint caoutchouteux, au moins une rondelle élastique ou un ressort), avec l'extrémité du bloc de l'actionneur 2 opposée à l'aiguille 4. Le moyen élastique 251 permet d'assurer une précontrainte quasi-constante du matériau électroactif 221 indépendamment des allongements de la tige centrale 40 dus aux dilatations thermiques. Grâce à cet agencement, il est possible de poursuivre l'assemblage de l'actionneur 2 à l'échelle industrielle, par exemple, lors d'une rupture de stock des tiges en invar. Ainsi ce mode de réalisation contribue à rendre la fabrication de

l'injecteur plus fiable.

Enfin, selon la configuration de la figure 16, on peut aussi faire en sorte que l'écart entre les coefficients de dilatation du matériau électroactif 221 (céramique) et des matériaux de la troisième partie 23, de la première partie 21 et de la tige centrale 40 peut être choisi de façon que les dilatations différentielles de ces pièces n'induisent pas, dans la plage de température de fonctionnement de l'injecteur, une variation de la précontrainte du matériau électroactif 221 supérieure à 10% de la valeur de contrainte nominale (induite par le moyen de précontrainte 250).

Il doit être compris que, de part sa géométrie, sa masse volumique, sa célérité du son, la tige centrale 40, présente une contribution négligeable sur le plan acoustique. Par exemple, lorsque la tige centrale 40 est pleine, son diamètre, mesuré dans un plan perpendiculaire à l'axe AB, peut être négligeable (contrairement à ce qui est présenté schématiquement sans échelle sur les figures 16-17) par rapport au diamètre D_{2-1} de la deuxième partie 22, voire au diamètre D_4 de l'aiguille 4. En résumé, la présence de la tige centrale 40 n'influence pas de façon significative la longueur $L = f(T)$ du bloc comprenant les trois parties 21, 22, 23 de l'actionneur 2, exprimée en temps vol acoustique T à l'aide des équations (E3) et (E3') ci-dessus.

Lorsque la tige centrale 40 présente la dilatation thermique sensiblement égale à la somme des dilatations thermiques du matériau électroactif 221 (céramique), de la troisième partie 23 et de la première partie 21 (en particulier, lorsque la tige centrale 40 présente la dilatation thermique sensiblement égale à celle du matériau électroactif 221 (céramique)), il doit être compris que, sur le plan acoustique, la longueur $L = f(T)$ décrite par l'équation (E3) ci-dessus (pouvant, à son tour, être précisée à l'aide de l'équation (E3')) reste toujours comprise entre les deux limites opposées (faces frontales) C, D du bloc, comme illustrée sur la figure 16, étant entendu que

- la définition déjà discutée ci-dessus de la première limite référencée D sur la figure 16 (face frontale orientée vers l'aiguille 4 de la première partie 21 de l'actionneur 2), reste inchangée,
- 5 - l'autre limite référencée C sur la figure 16 correspond à celle du moyen de précontrainte 250 (sa face frontale) opposée à l'aiguille 4 et non pas à celle de la troisième partie 23 (sa face frontale) opposée à l'aiguille 4.

Lorsque la tige centrale 40 présente la dilatation thermique
10 sensiblement différente à la somme des dilatations thermiques du matériau électroactif 221 (céramique), de la troisième partie 23 et de la première partie 21 (en particulier, lorsque la tige centrale 40 présente la dilatation thermique différente à celle du matériau électroactif 221 (céramique)), il doit être compris que, sur le plan acoustique, les
15 définitions déjà discutées ci-dessus des deux limites C et D (figure 17) du bloc comprenant les trois parties 21, 22, 23 de l'actionneur 2 restent inchangées (en particulier, la limite C du bloc correspond bien à celle de la troisième partie 23 opposée à l'aiguille 4), de manière que la longueur $L = f(T)$ du bloc décrite par l'équation (E3) ci-dessus (pouvant,
20 à son tour, être précisée à l'aide de l'équation (E3')) reste toujours comprise entre ces deux limites C, D (figure 17). En effet, le moyen élastique 251 présente une impédance linéaire faible et les ondes acoustiques sont réfléchies à la limite C formant une interface entre la troisième partie 23 et le moyen élastique 251 de manière qu'aucune
25 onde acoustique provenant axialement de la troisième partie 23 ne pénètre dans le moyen de précontrainte 250 à travers le moyen élastique 251. La présence de la tige centrale 40 étant négligeable sur le plan acoustique comme précisé ci-dessus, la rupture de l'impédance acoustique linéaire entre la troisième partie 23 et le moyen élastique
30 251 peut être assimilée à une rupture totale, il n'y a donc plus aucune continuité du milieu acoustique entre la troisième partie 23 et le moyen de précontrainte 250, comme l'indique la figure 17.

REVENDICATIONS

1. Dispositif d'injection de fluide (131) présentant un axe principal d'injection (AB) et comportant :

- une buse (3) comportant, suivant ledit axe (AB), un orifice d'injection et un siège (5) et étant, à l'opposé, liée à un boîtier (1),
- 5 - une aiguille (4) présentant, suivant ledit axe (AB), une première extrémité (6) définissant un clapet, dans une zone de contact avec le siège (5) et étant, à l'opposé, liée à un actionneur (2) monté mobile axialement dans le boîtier (1) pour une mise en vibration de l'aiguille (4), assurant entre sa première extrémité (6) et le siège (5)
10 de la buse (3) un mouvement relatif propre à ouvrir et à fermer alternativement le clapet, l'actionneur (2) comportant, selon l'axe (AB), une première (21), une deuxième (22) et une troisième (23) parties adaptées à être traversées par des ondes acoustiques initiées par des vibrations de la deuxième partie (22), les première
15 (21) et troisième (23) parties étant disposées axialement de part et d'autre de la deuxième partie (22), laquelle comprend un matériau électroactif (221), les trois parties (21), (22), (23) étant serrées ensemble pour former un bloc présentant axialement deux limites opposées (C), (D), la première partie (21) étant liée avec l'aiguille
20 (4) à l'endroit d'une (D) des dites limites (C), (D),
- des moyens d'excitation pour mettre la deuxième partie (22) de l'actionneur (2) en vibrations avec une période de consigne τ ,

caractérisé en ce que la longueur (L) entre les deux limites (C), (D) du bloc est telle que le temps de propagation (T) des ondes acoustiques
25 initiées par les vibrations de la deuxième partie (22) de l'actionneur (2) et parcourant cette longueur (L) répond à l'équation suivante : $T = n \cdot [\tau/2]$, à une tolérance près et où n est un coefficient multiplicateur, entier positif non nul.

2. Dispositif d'injection selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** la première partie (21) de l'actionneur (2) présente axialement une première limite (213) confondue avec celle (D) où le bloc est lié à l'aiguille (4) et une deuxième limite (212) opposée, serrée contre le matériau électroactif (221) de la deuxième partie (22) de l'actionneur (2), et **en ce que** la première longueur (L_1) entre lesdites première (213) et deuxième (212) limites est telle que le temps de propagation (T_1) des ondes acoustiques initiées par les vibrations de la deuxième partie (22) de l'actionneur (2) et parcourant cette première longueur (L_1) répond à l'équation suivante : $T_1 = m \cdot [\tau/2]$, à une tolérance près et où m est un coefficient multiplicateur, entier positif non nul.

3. Dispositif d'injection selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** la première partie (21) de l'actionneur (2) présente axialement une première limite (213) confondue avec celle (D) où le bloc est lié à l'aiguille (4) et une deuxième limite (212) opposée, serrée contre le matériau électroactif (221) de la deuxième partie (22) de l'actionneur (2), et **en ce que** la deuxième longueur (L_2) entre cette deuxième limite (212) et la limite (C) du bloc opposée axialement à l'aiguille (4) est telle que le temps de propagation (T_2) des ondes acoustiques initiées par les vibrations de la deuxième partie (22) de l'actionneur (2) et parcourant cette deuxième longueur (L_2) répond à l'équation suivante : $T_2 = k \cdot [\tau/2]$, à une tolérance près et où k est un coefficient multiplicateur, entier positif non nul.

4. Dispositif d'injection selon la revendication 3, **caractérisé en ce que** sur au moins 90% de la deuxième longueur (L_2) l'actionneur 2 présente une variation d'impédance acoustique linéaire inférieure ou égale à 5%.

5. Dispositif d'injection selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la troisième (23) et la deuxième (22) parties de l'actionneur (2) présentent respectivement des sections de surfaces différentes dans des plans perpendiculaires à

l'axe (AB), et **en ce que** la troisième partie (23) comprend un segment de raccordement (230) avec la deuxième partie (22) présentant axialement une longueur (L_{A3}) telle que le temps de propagation (T_{A3}) des ondes acoustiques initiées par les vibrations de la deuxième partie (22) de l'actionneur (2) et parcourant cette longueur (L_{A3}) répond à l'inéquation suivante : $T_{A3} < \tau/10$.

6. Dispositif d'injection selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** toute section perpendiculaire à l'axe (AB) de la première partie (21) de l'actionneur (2) présente, suivant ledit axe (AB), des déplacements produits par les ondes acoustiques parcourant la première partie (21) de sa deuxième limite (212) vers sa première limite (213) et **en ce que** la première partie (21) de l'actionneur (2) présente, suivant ledit axe (AB), une variation d'impédance acoustique linéaire (l_{21}) telle que les déplacements axiaux d'une section perpendiculaire à l'axe (AB) et située à la première limite (213) sont supérieurs à ceux de toute autre section de la première partie (21), l'impédance acoustique linéaire (l_{21}) de la première partie (21) étant définie par l'équation suivante : $l_{21} = \Sigma_{21} * \rho_{21} * c_{21}$, où Σ_{21} est une surface d'une section de la première partie (21) perpendiculaire à l'axe (AB), ρ_{21} est une masse volumique dans la première partie (21), c_{21} est une célérité du son dans la première partie (21).

7. Dispositif d'injection selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la première partie (21) comprend au moins un segment tronconique qui se rétrécit, suivant l'axe (AB), vers l'aiguille (4), et **en ce que** la distance (H), suivant l'axe (AB), entre une section quelconque (EF) du segment tronconique perpendiculaire à l'axe (AB) et une pointe imaginaire (P) du segment tronconique, répond à l'inéquation suivante : $H > 0.22 * c * \tau$.

8. Dispositif d'injection selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la première (21) et la deuxième (22) parties de l'actionneur (2) présentent respectivement

des sections de surfaces différentes dans des plans perpendiculaires à l'axe (AB), et **en ce que** la première partie (21) comprend un segment de raccordement (211) avec la deuxième partie (22) présentant axialement une longueur (L_{A2}) telle que le temps de propagation (T_{A2}) des ondes acoustiques initiées par les vibrations de la deuxième partie (22) de l'actionneur (2) et parcourant cette longueur (L_{A2}) répond à l'inéquation suivante : $T_{A2} < \tau/10$.

9. Dispositif d'injection selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la première partie (21) de l'actionneur (2) et l'aiguille (4) présentent respectivement des sections de surfaces différentes dans des plans perpendiculaires à l'axe (AB), et **en ce que** la première partie (21) comprend un segment de raccordement (210) avec l'aiguille (4) présentant axialement une longueur (L_{A1}) telle que le temps de propagation (T_{A1}) des ondes acoustiques initiées par les vibrations de la deuxième partie (22) de l'actionneur (2) et parcourant cette longueur (L_{A1}) répond à l'inéquation suivante : $T_{A1} < \tau/20$.

10. Dispositif d'injection selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la première partie (21) de l'actionneur (2) est prolongée, suivant l'axe (AB), à l'opposé de l'aiguille (4), par une tige centrale (40) et **en ce que** la deuxième (22) et la troisième (23) parties de l'actionneur (2) sont enfilées sur la tige centrale (40).

11. Dispositif d'injection selon la revendication 11, **caractérisé en ce que** la tige centrale (40) présente une dilatation thermique identique à celle du matériau électroactif (221) de la deuxième partie (22) de l'actionneur (2).

12. Dispositif d'injection selon la revendication 10, **caractérisé en ce que** la tige centrale (40) présente une dilatation thermique différente de celle du matériau électroactif (221) de la deuxième partie 22 de l'actionneur (2), et **en ce qu'un** moyen de

précontrainte (250) lié avec la tige centrale (40) est adapté à serrer les trois parties (21), (22), (23) de l'actionneur (2) ensemble, et est lié, par l'intermédiaire d'un moyen élastique (251), avec l'extrémité du bloc de l'actionneur (2) opposée à l'aiguille (4).

5 13. Dispositif d'injection selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que**

- 10 - la buse (3) avec le boîtier (1) et l'aiguille (4) avec l'actionneur (2) forment respectivement un premier et un deuxième milieux de propagation d'ondes acoustiques, chaque milieu présentant une impédance acoustique linéaire (I) définie par l'équation suivante : $I = \Sigma * \rho * c$, où Σ est une surface d'une section du milieu perpendiculaire à l'axe (AB), ρ est une masse volumique du milieu, c est une célérité du son dans le milieu,
- 15 - au moins une zone de rupture d'impédance acoustique linéaire, existant à distance de la zone de contact du siège (5) avec la première extrémité (6) le long de la buse (3) ou du boîtier (1), et au moins une autre zone de rupture d'impédance acoustique linéaire existant à distance de la zone de contact de la première extrémité (6) avec le siège (5) le long de l'aiguille (4) ou de l'actionneur (2), et
- 20 - lesdites zone et autre zone de rupture d'impédance acoustique linéaire étant chacune première dans l'ordre à partir de ladite zone de contact entre la première extrémité (6) de l'aiguille (4) et le siège (5), dans un sens de propagation des ondes acoustiques orienté respectivement vers le boîtier (1) et l'actionneur (2),

25 **en ce que** la distance, dite première distance (L_B), entre, d'une part, la zone de contact entre le siège (5) et la première extrémité (6), et, d'autre part, la première zone de rupture d'impédance acoustique linéaire le long de la buse (3) ou du boîtier (1), est telle que le temps de propagation (T_B) des ondes acoustiques initiées par la deuxième partie

30 (22) de l'actionneur (2) et parcourant cette première distance (L_B)

répond à l'équation suivante : $T_B = n_B \cdot [\tau/2]$, à une tolérance près et où n_B est un coefficient multiplicateur, entier positif non nul, et

en ce que la distance, dite deuxième distance (L_A), entre, d'une part, la zone de contact entre la première extrémité (6) et le siège (5), et, d'autre part, la première zone de rupture d'impédance acoustique linéaire le long de l'aiguille (4) ou de l'actionneur (2), est telle que le temps de propagation (T_A) des ondes acoustiques initiées par la deuxième partie (22) de l'actionneur (2) et parcourant cette deuxième distance (L_A) répond à l'équation suivante : $T_A = n_A \cdot [\tau/2]$, à une tolérance près et où n_A est un coefficient multiplicateur, entier positif non nul.

14. Dispositif d'injection de fluide selon la revendication 13, **caractérisé en ce qu'**au sein du premier milieu de propagation d'ondes acoustiques, sur ladite première distance (L_B), il existe une pluralité de segments (301), (302), (303) se différenciant les uns des autres par au moins deux critères parmi les trois critères suivants propres à chacun des segments (301), (302), (303) : (a) géométrie du segment ; (b) masse volumique ρ du segment ; (c) célérité c du son dans le segment, les segments (301), (302), (303) étant tels que leurs impédances acoustiques linéaires respectives (l_{301}), (l_{302}), (l_{303}) sont égales : $l_{301} = l_{302} = l_{303}$.

15. Dispositif d'injection de fluide selon la revendication 13 ou 14, **caractérisé en ce qu'**au sein du deuxième milieu de propagation d'ondes acoustiques, sur ladite deuxième distance (L_A), il existe une pluralité de segments (401), (402), (403) se différenciant les uns des autres par au moins deux critères parmi les trois critères suivants propres à chacun des segments (401), (402), (403) : (a) géométrie du segment ; (b) masse volumique ρ du segment ; (c) célérité c du son dans le segment, les segments (401), (402), (403) étant tels que leurs impédances acoustiques linéaires respectives (l_{401}), (l_{402}), (l_{403}) sont égales : $l_{401} = l_{402} = l_{403}$.

16. Dispositif d'injection de fluide selon l'une des revendications 13 à 15, **caractérisé en ce que** l'aiguille (4) et l'actionneur (2) sont liés entre eux par une zone de jonction (ZJ) qui transmet les ondes acoustiques, **en ce que** dans la zone de jonction (ZJ) l'actionneur (2) présente une impédance acoustique linéaire I_{AC-ZJ} et l'aiguille (4) présente une impédance acoustique linéaire I_{A-ZJ} , et **en ce que** la relation suivante est vérifiée : $I_{AC-ZJ} / I_{A-ZJ} \geq 2.5$.

17. Dispositif d'injection de fluide selon la revendication 16, **caractérisé en ce que** la première partie (21) de l'actionneur (2) comprend au moins une section circulaire d'un diamètre prédéterminé, dit diamètre D_{1-1} de la première partie (21), mesuré dans un plan perpendiculaire à l'axe (AB), **en ce que** la zone de jonction (ZJ) entre l'aiguille (4) et l'actionneur (2) est formée du côté de l'actionneur (2) par ladite section circulaire, **en ce que** la zone de jonction (ZJ) entre l'aiguille (4) et l'actionneur (2) est formée du côté d'aiguille (4) par au moins un tronçon cylindrique de révolution d'un diamètre prédéterminé, dit diamètre (D_4) de l'aiguille (4), mesuré dans un plan perpendiculaire à l'axe (AB), et **en ce que** le diamètre (D_{1-1}) de la première partie (21) de l'actionneur (2) et le diamètre (D_4) de l'aiguille (4) sont reliés par l'inéquation suivante : $D_{1-1}/D_4 \geq \sqrt{2.5}$.

18. Moteur (151) à combustion interne utilisant le dispositif d'injection de fluide selon l'une quelconque des revendications précédentes.

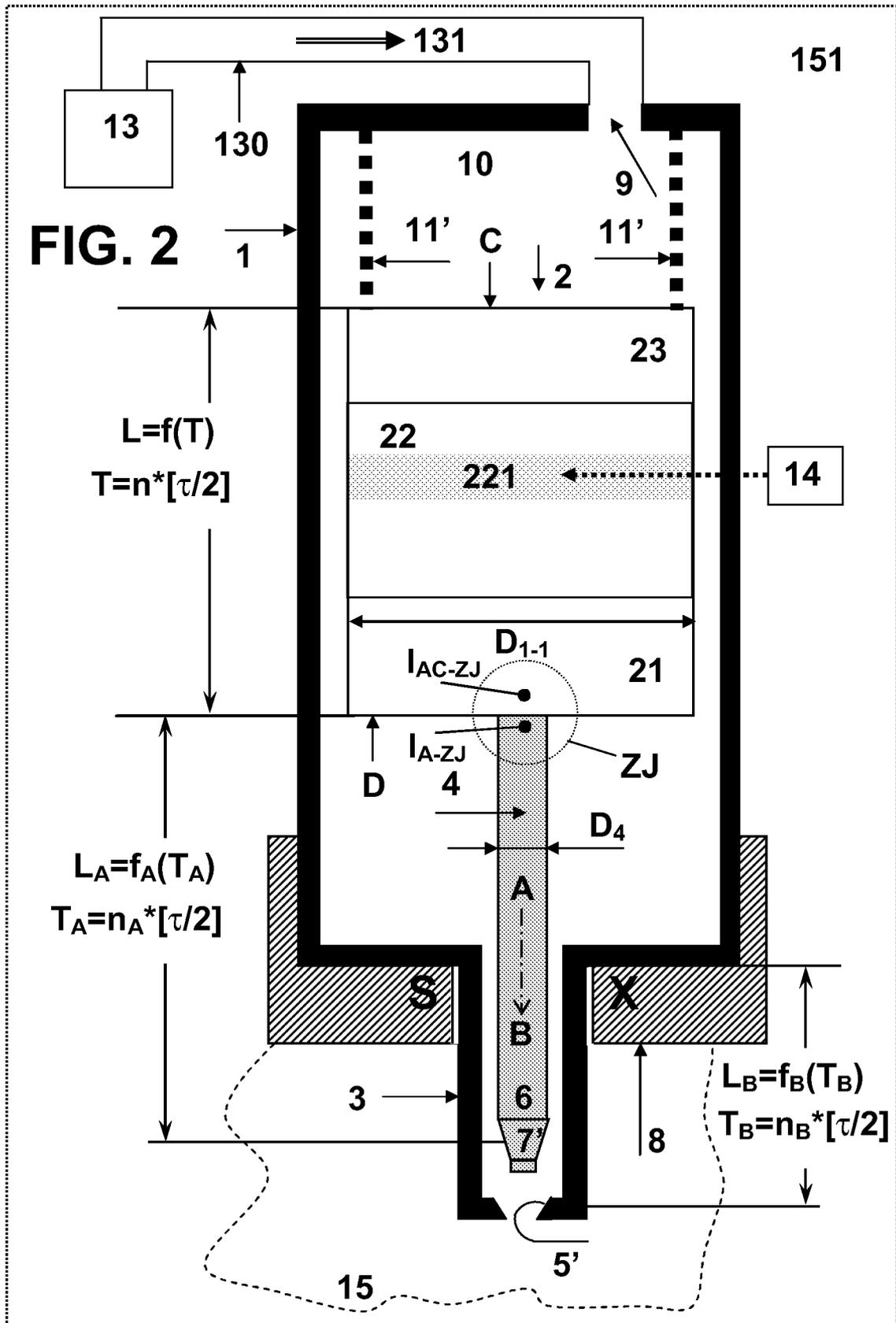


FIG. 3

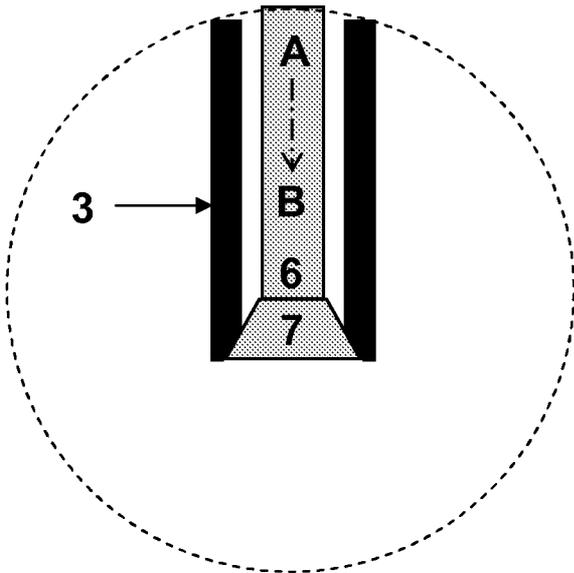


FIG. 5

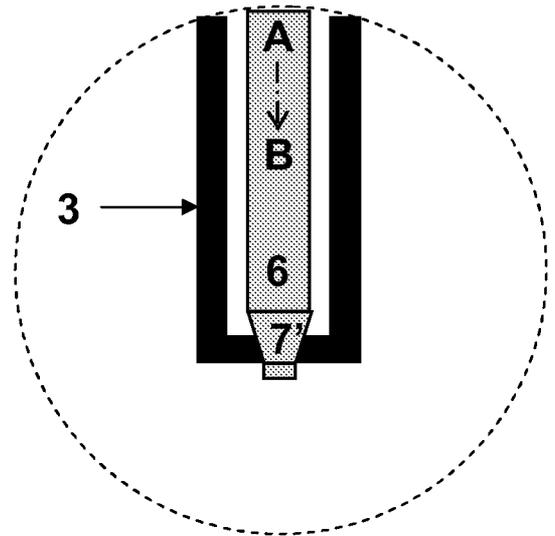


FIG. 4

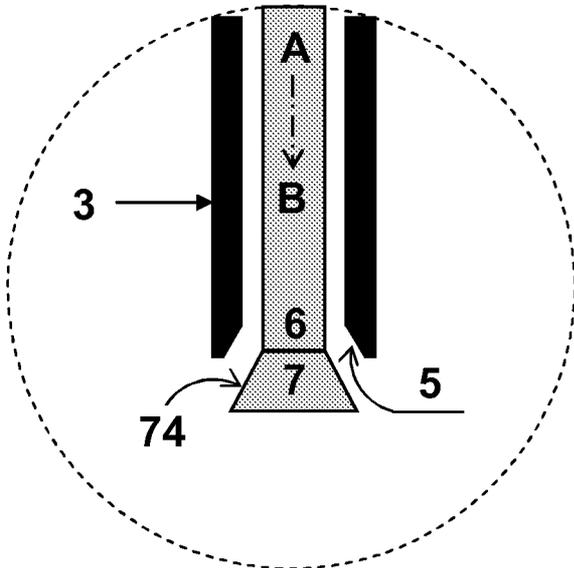
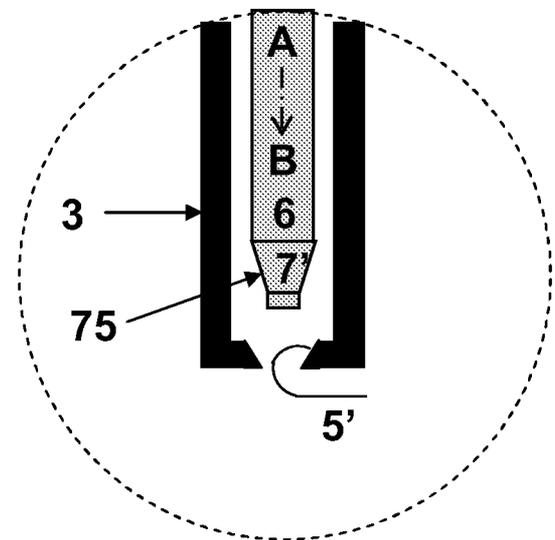


FIG. 6



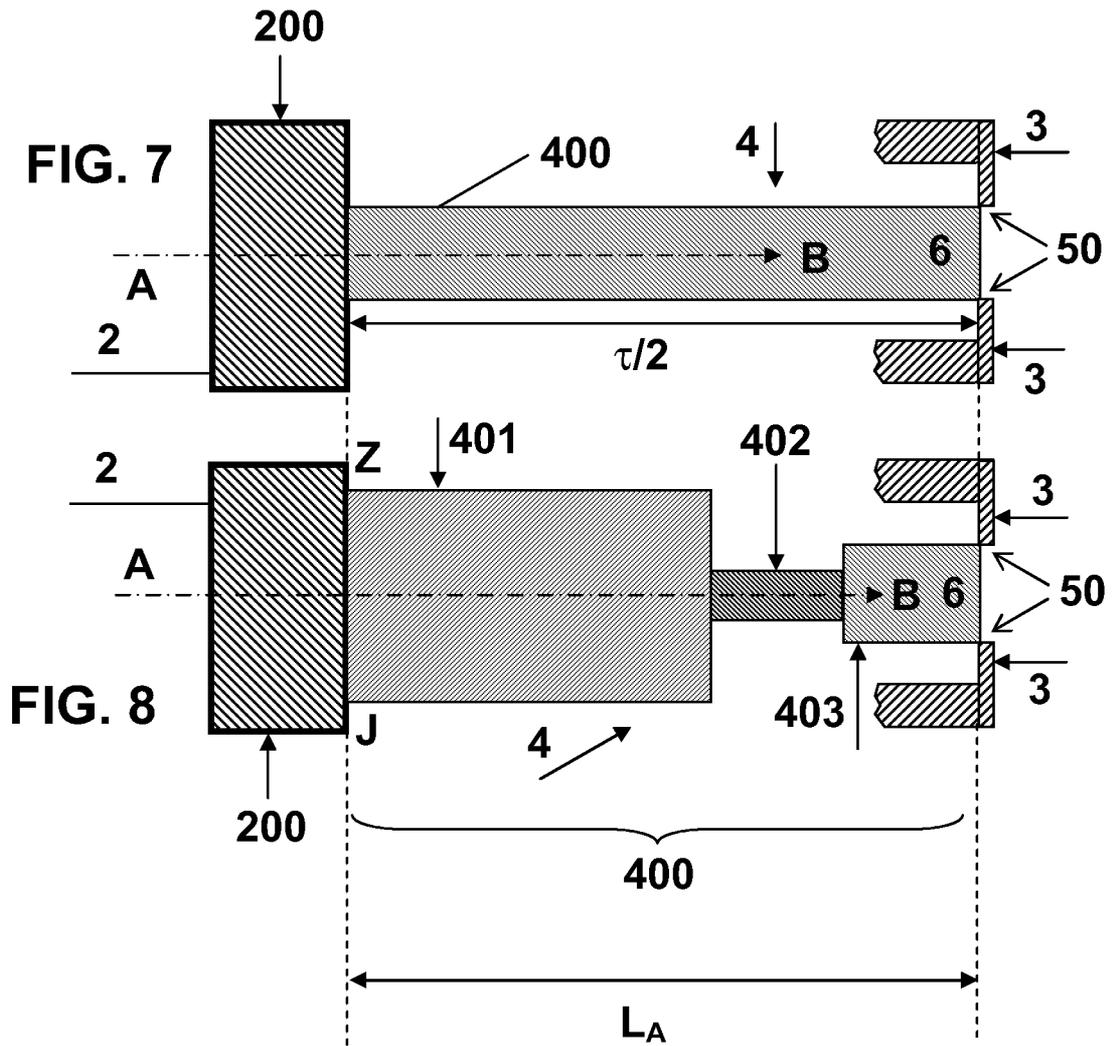


FIG. 9

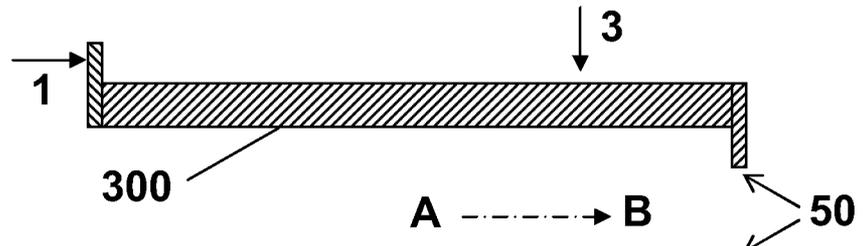
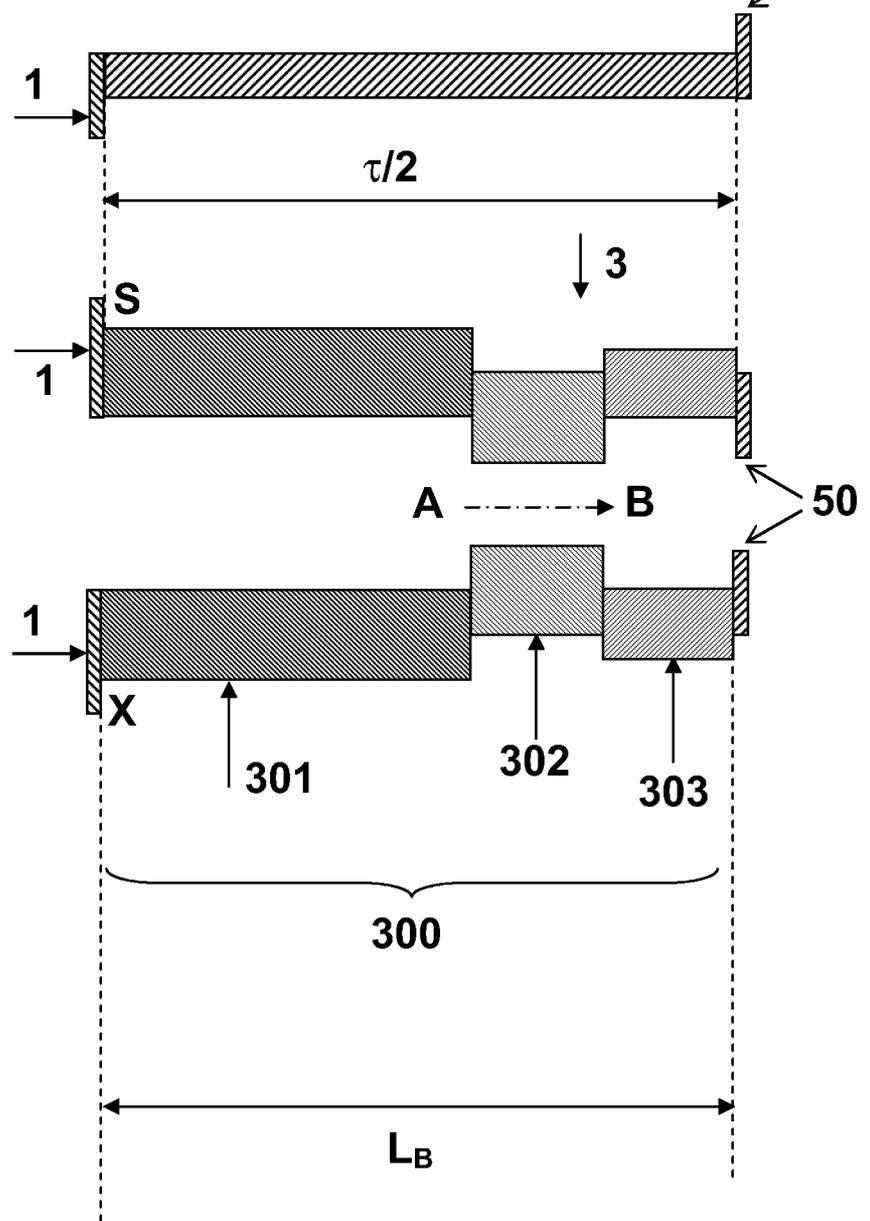
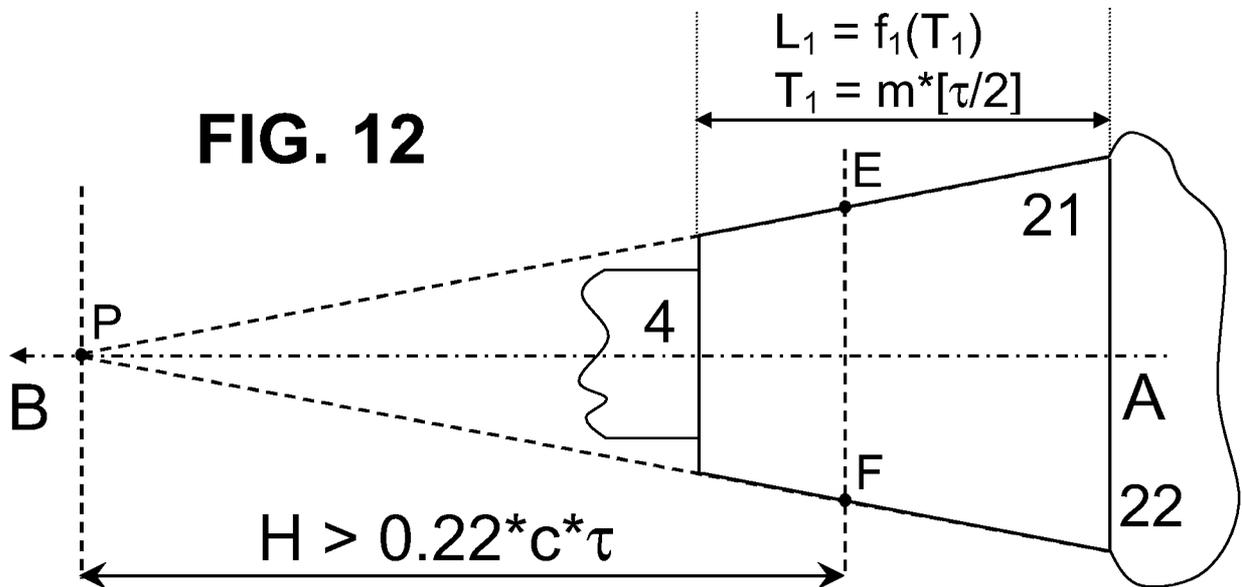
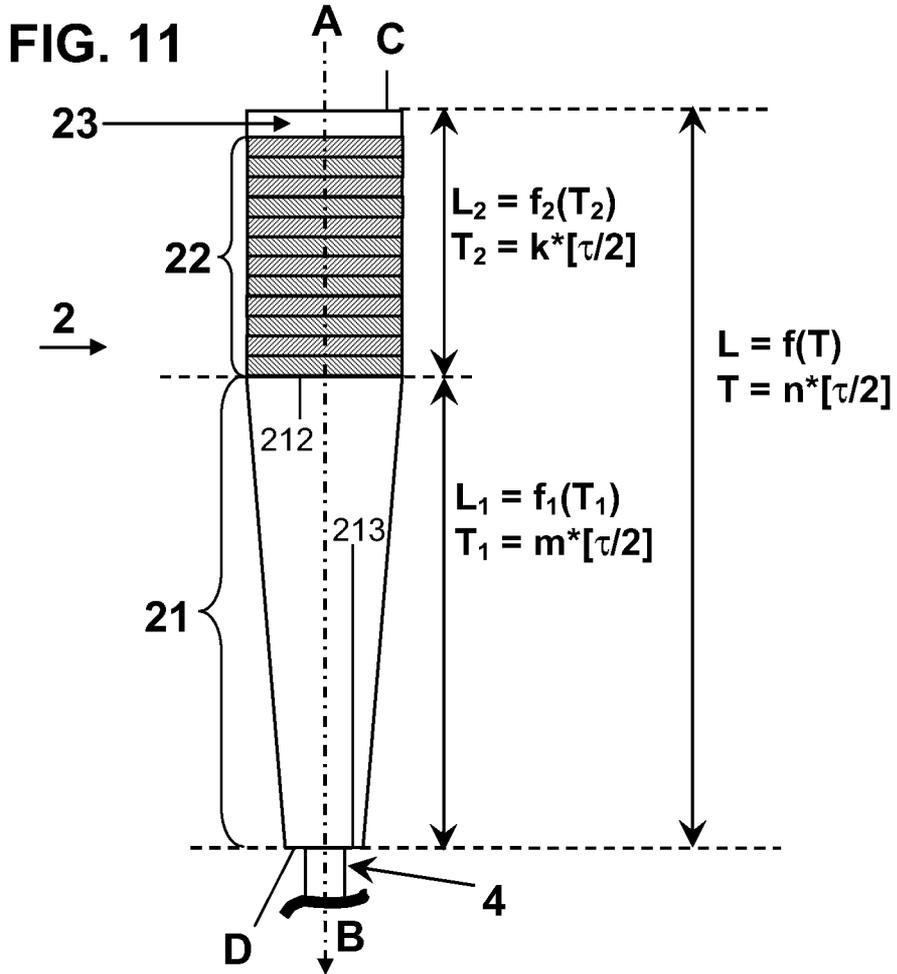


FIG. 10





7/8

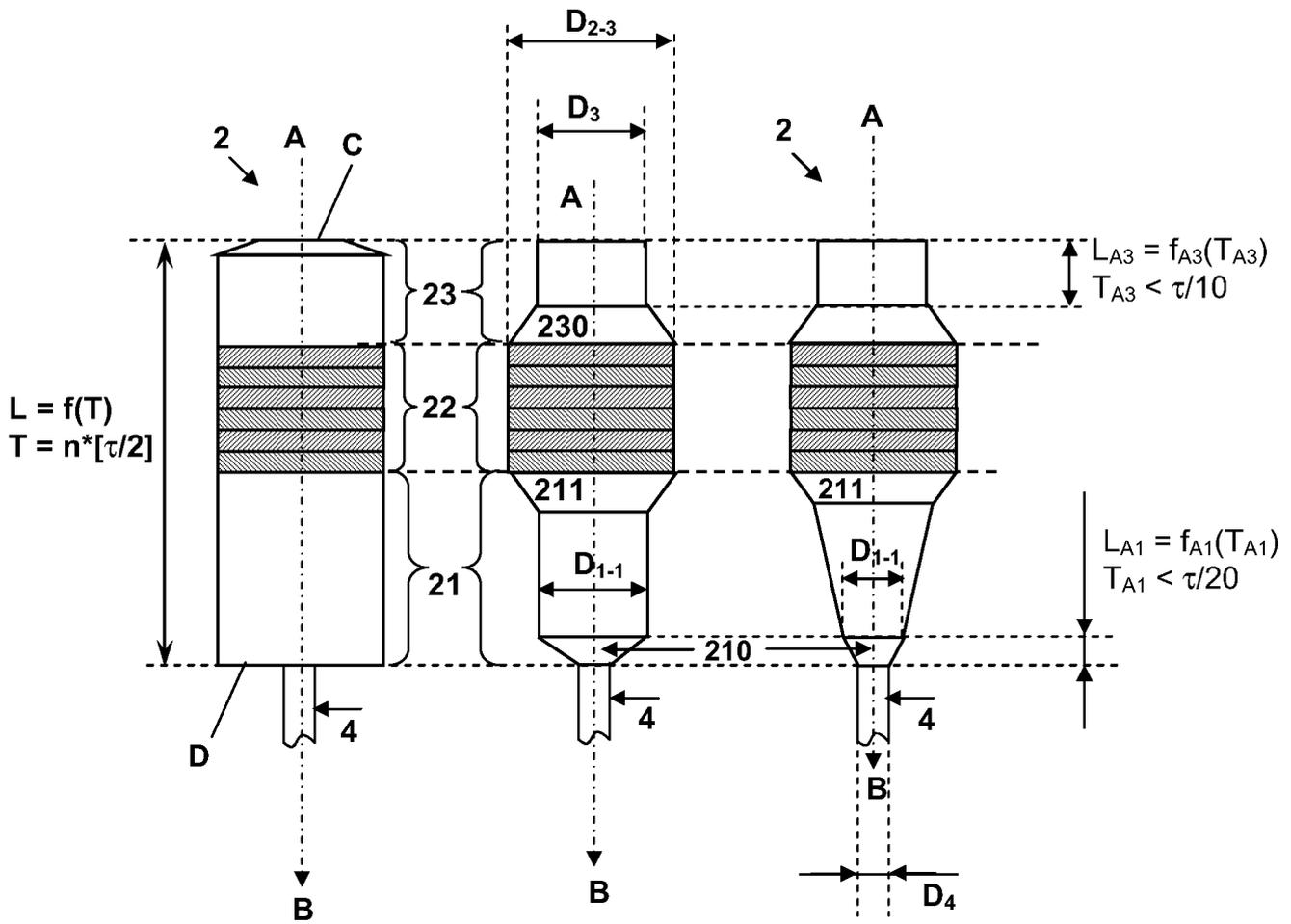


FIG. 13

FIG. 14

FIG. 15

