



(11) **EP 2 482 990 B1**

(12) **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
29.08.2018 Bulletin 2018/35

(51) Int Cl.:
B05B 5/043 ^(2006.01) **F23D 11/32** ^(2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **10765678.7**

(86) Numéro de dépôt international:
PCT/IB2010/054343

(22) Date de dépôt: **27.09.2010**

(87) Numéro de publication internationale:
WO 2011/039695 (07.04.2011 Gazette 2011/14)

(54) **DISPOSITIF ET PROCÉDÉ DE PROJECTION ÉLECTROSTATIQUE D'UN LIQUIDE, INJECTEUR DE CARBURANT INCORPORANT CE DISPOSITIF ET UTILISATIONS DE CE DERNIER**

VORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUM ELEKTROSTATISCHEN SPRÜHEN EINER FLÜSSIGKEIT, EINSPRITZVENTIL MIT DIESER VORRICHTUNG UND IHRE VERWENDUNG

DEVICE AND METHOD FOR ELECTROSTATICALLY SPRAYING A LIQUID, FUEL INJECTOR COMPRISING SAID DEVICE, AND USES OF SAME

(84) Etats contractants désignés:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO SE SI SK SM TR

(30) Priorité: **29.09.2009 FR 0904634**

(43) Date de publication de la demande:
08.08.2012 Bulletin 2012/32

(73) Titulaires:
• **Centre National de la Recherche Scientifique**
75016 Paris (FR)
• **Université De Poitiers**
86034 Poitiers Cedex (FR)

(72) Inventeurs:
• **LOUSTE, Christophe Laurent**
F-86440 Migne-Auxances (FR)
• **ROMAT, Hubert**
F-86000 Poitiers (FR)

(74) Mandataire: **IPAZ**
Parc Les Algorithmes, Bâtiment Platon
CS 70003 Saint-Aubin
91192 Gif-sur-Yvette Cedex (FR)

(56) Documents cités:
EP-A1- 0 216 502 WO-A2-2006/079111
GB-A- 2 096 022 GB-A- 2 312 298
GB-A- 2 442 210 US-A- 6 123 269
US-A1- 2004 075 003 US-A1- 2008 173 327

EP 2 482 990 B1

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

Description

[0001] La présente invention concerne un dispositif et un procédé de projection en particulier sous forme de nappe d'un liquide pouvant être électriquement isolant au moins par des forces électrostatiques, le dispositif étant conçu pour pulvériser ce liquide ou pour en contrôler des oscillations en y générant des battements. L'invention concerne également un injecteur de carburant pour chambre de combustion d'un moteur thermique incorporant ce dispositif, tant pour les véhicules terrestres qu'aériens ou spatiaux, ainsi que d'autres utilisations de ce dispositif comme par exemple dans les domaines des pompes électro-hydrodynamiques pour échangeurs de chaleur, du refroidissement de systèmes embarqués par pulvérisation de liquides caloporteurs, de la pulvérisation d'huiles de coupe ou encore du nettoyage de surfaces, à titre non limitatif.

[0002] La pulvérisation d'un carburant est une étape essentielle pour tous les moteurs thermiques, du fait que le taux de pollution et le rendement d'un moteur thermique sont intimement liés à la qualité de pulvérisation du carburant. Dans les moteurs aéronautiques de type turboréacteurs, la pulvérisation est obtenue par désintégration d'une nappe de carburant. Pour obtenir cette désintégration dans un turboréacteur, on utilise généralement un jet d'air cisailant soufflé à grande vitesse (typiquement à 200 m/s) dans la chambre de combustion qui impacte la nappe de carburant et la pulvérise.

[0003] Pour améliorer ce rendement et réduire la pollution engendrée par ces turboréacteurs, il est donc nécessaire de bien maîtriser la pulvérisation, ce qui est effectué de manière relativement satisfaisante en régime de fonctionnement normal étant donné que le dispositif de pulvérisation est dimensionné pour fonctionner correctement lorsque l'aéronef est en vitesse de croisière.

[0004] Cependant, il n'en est pas de même pour les autres régimes et notamment à bas régime, lorsque par exemple l'avion roule sur la piste. A ce moment-là, l'air qui entre dans la chambre de combustion n'atteint usuellement qu'une vitesse d'environ 30 m/s, insuffisante pour atomiser correctement le carburant qui donc brûle mal et engendre à la fois perte de puissance et pollution. La solution adoptée par les constructeurs aéronautiques consiste alors à disposer de plusieurs systèmes d'injection dans un même aéronef correspondant à autant de régimes de fonctionnement, ce qui présente l'inconvénient d'une solution complexe, coûteuse, d'un poids élevé et qui augmente en outre les risques de pannes. D'autres inconvénients de cette multiplicité d'injecteurs résident dans le manque de souplesse du dispositif qui ne permet pas de passer continûment d'un régime de fonctionnement à un autre et dans l'insuffisance des résultats obtenus par les injecteurs bas régime (la vitesse du jet d'air étant trop faible à bas régime, la pulvérisation peut n'être alors que partielle).

[0005] Pour apporter une solution à ces problèmes de pollution, de nouveaux injecteurs ont été développés,

toujours sur le même principe précité des jets d'air cisailant, pour obtenir des brouillards à faible concentration en carburant. Bien qu'efficaces en terme de pollution, il arrive néanmoins que la pauvreté du mélange en carburant provoque l'extinction du moteur. Le réallumage du moteur est alors difficile s'il a lieu en altitude (où la pression est faible et l'entrée d'air peut par exemple se faire à -45°C).

[0006] Une autre voie récemment explorée consiste à électriser le carburant avant son atomisation dans un turboréacteur, par injection électrostatique de charges électriques dans un jet de carburant circulant à grande vitesse. L'article Priol L., Baudel P., Louste C., Romat H., "Laser granulometry measurements on electrified jets for different lengths of injector", Journal of electrostatics, Vol. 63, pp. 899-904, 2005, enseigne d'utiliser une telle pulvérisation électrostatique d'un carburant circulant à une vitesse moyenne comprise entre 40 et 100 m/s au moyen d'une buse à symétrie de révolution incorporant une électrode en forme d'aiguille axiale reliée à une source de haute tension et une contre-électrode sensiblement radiale reliée à la terre qui est agencée en aval de l'aiguille dans la buse et qui comme l'autre électrode est destinée à être en contact avec le carburant. Cette contre-électrode est prévue en amont d'une conduite axiale terminale de cette buse de longueur L et de diamètre D (avec L/D variant de 2 à 10) par laquelle s'écoule le carburant électrisé avant d'être pulvérisé hors de la buse par l'orifice de sortie de cette conduite.

[0007] Le document WO-A1-2008/052830 présente une buse de pulvérisation d'un carburant électriquement conducteur incorporant une électrode plane radiale en forme de couronne qui est logée entre deux couches radiales électriquement isolantes et dont le bord interne est pointu en amont de l'orifice de projection du carburant hors de la buse. Ce carburant conducteur est au préalable entraîné en rotation en amont de cette électrode et selon un axe de rotation perpendiculaire à celle-ci puis entre en contact avec ce bord pointu d'électrode avant d'être projeté hors de la buse.

[0008] Le document EP-B1-1 139 021 présente une buse de pulvérisation se terminant par deux électrodes métalliques axiales qui sont destinées à être en contact avec le carburant et qui définissent à elles seules le bord de l'orifice de projection du carburant hors de la buse.

[0009] Le document GB2096022 décrit un dispositif selon le préambule de l'objet de la revendication 1.

[0010] Un inconvénient majeur de ce dernier dispositif de pulvérisation à électrodes qui sont toutes deux non électriquement isolées réside dans la valeur relativement réduite de l'intensité du champ électrostatique généré par ces électrodes, ce qui nuit à la qualité de l'atomisation obtenue.

[0011] Un but de la présente invention est de proposer un dispositif de projection en particulier sous forme de nappe d'un liquide pouvant être électriquement isolant au moins par des forces électrostatiques qui remédie à l'ensemble des inconvénients précités, ce dispositif étant

conçu pour pulvériser ce liquide ou pour en contrôler le battement des oscillations et comprenant une buse qui forme un canal d'amenée du liquide vers au moins un orifice de projection de ce dernier hors du dispositif et qui incorpore à proximité de cet orifice une première et une seconde électrodes agencées pour injecter des charges électriques dans le liquide.

[0012] A cet effet, un dispositif de projection de liquide selon l'invention est tel que le bord de cet orifice comprend, d'un côté du canal, au moins une extrémité saillante de la première électrode qui fait saillie dans ce canal et qui est destinée à être en contact avec le liquide et, d'un autre côté du canal, un corps de buse électriquement isolant dans lequel est noyée la seconde électrode de manière adjacente à la première électrode, de telle sorte que l'intensité du champ électrostatique en ladite ou chaque extrémité saillante soit maximisée.

[0013] On notera en premier lieu qu'un dispositif selon l'invention ainsi défini permet non seulement de pulvériser de manière optimale sous forme de nappe un liquide qui peut être initialement non électriquement chargé, tel qu'un carburant Diesel (étant précisé que par « électriquement isolant » on entend pour ce liquide une résistivité égale ou supérieure à 10^8 Q.m), mais en outre de contrôler la variation de l'amplitude de l'oscillation de la nappe projetée à l'état non pulvérisé.

[0014] Par « nappe », on entend dans la présente description un film mince dont l'épaisseur peut typiquement varier de $200 \text{ }\mu\text{m}$ à $500 \text{ }\mu\text{m}$ et qui définit une surface pouvant être plane ou tridimensionnelle, étant avantageusement dans ce dernier cas à symétrie de révolution et délimitant un espace interne, par opposition à un jet tridimensionnel de liquide qui par définition est plein et ne définit donc pas d'espace interne.

[0015] On notera que le dispositif selon l'invention, qui peut être uniquement basé sur l'utilisation de la force de Coulomb, est apte à injecter des charges électriques dans le carburant simultanément à sa projection hors du dispositif avec obtention d'un champ électrostatique local d'intensité extrêmement élevée, grâce à l'agencement spécifique des deux électrodes dont l'une forme l'extrémité de sortie de la buse via son extrémité saillante (i.e. pointue ou acérée selon un faible rayon de courbure) et dont l'autre est électriquement isolée en étant immédiatement adjacente à cette extrémité de sortie et, par conséquent, à l'autre électrode saillante. On obtient alors localement une véritable injection forcée des charges électriques dans le carburant, et la Demanderesse a vérifié que les effets électrostatiques intenses ainsi obtenus sont de nature à perturber la nappe de carburant voire même à provoquer son explosion, avec une optimisation de la pulvérisation secondaire de la nappe et une homogénéité du brouillard de gouttelettes obtenu qui est améliorée, en comparaison des pulvérisations obtenues par les dispositifs connus précités.

[0016] Rappelons que l'on entend de manière connue par « oscillation primaire » d'une nappe de carburant pulvérisé des ondes longitudinales de petite amplitude par

rapport à l'épaisseur de la nappe et correspondant à une oscillation de l'interface, et qu'en aval de cette oscillation primaire sont formés des ligaments dans le sens de l'écoulement. Ces ligaments, qui correspondent à une oscillation dite secondaire, sont régulièrement espacés dans la direction transversale de la nappe et sont séparés par de fines membranes qui se rompent rapidement sous l'effet des forces aérodynamiques en formant un brouillard de petites gouttes. Ces ligaments se rompent à leur tour pour former une population d'amas liquides de tailles relativement importantes, la création de ces amas correspondant à la fin du phénomène de pulvérisation primaire. Quant à la pulvérisation secondaire, elle correspond à la désintégration de ces amas instables en gouttelettes plus petites du fait de la pression cinétique qui s'oppose aux forces de tension superficielle.

[0017] Selon une autre caractéristique préférentielle de l'invention, ledit canal est délimité par des premier et second corps de buse électriquement isolants qui sont montés en regard l'un de l'autre et qui incorporent respectivement lesdites première et seconde électrodes en des zones profilées de ces corps aboutissant audit orifice de projection, la première électrode s'étendant sur une première paroi intérieure audit canal définissant la zone profilée du premier corps et se terminant au-delà de cette paroi par ladite ou chaque extrémité en saillie dans le canal, et la seconde électrode étant adjacente à une seconde paroi extérieure au canal définissant la zone profilée du second corps.

[0018] Avantageusement, ladite ou chaque extrémité saillante peut présenter un rayon de courbure principal compris entre $5 \text{ }\mu\text{m}$ et $15 \text{ }\mu\text{m}$ et est de préférence en forme de pointe, ledit orifice de projection présentant une plus petite dimension transversale comprise entre $100 \text{ }\mu\text{m}$ et $500 \text{ }\mu\text{m}$. On notera que ce faible rayon de courbure combiné à l'isolation de la seconde électrode permet d'obtenir un champ électrostatique local très important, avec une intensité pouvant être supérieure à 1 MV/cm en ladite ou chaque extrémité saillante lorsque l'on applique une tension alternative (d'amplitude de préférence égale à plusieurs kV et par exemple au moins égale à $\pm 20 \text{ kV}$) entre les première et seconde électrodes.

[0019] Selon une autre caractéristique de l'invention, ladite première électrode peut être globalement rectiligne en section longitudinale, ladite seconde électrode pouvant présenter une surface externe convexe qui est de préférence elliptique ou circulaire en section longitudinale, cette forme convexe ou arrondie permettant de minimiser l'intensité du champ électrostatique en cette surface.

[0020] Avantageusement dans le cas de l'utilisation préférentielle d'un carburant à titre de liquide, le dispositif de l'invention est tel que ledit premier corps de buse présente une permittivité relative ϵ_r de préférence inférieure ou égale à 10 (à titre encore plus préférentiel inférieure ou égale à 5), et que ledit second corps de buse présente une permittivité relative ϵ_r égale ou supérieure à 2 (de préférence égale ou supérieure à 5) de sorte à maximiser

encore l'intensité du champ électrostatique au voisinage de ladite première électrode. Pour éviter le claquage du dispositif, cette seconde électrode est ainsi placée à l'intérieur d'un matériau isolant de permittivité élevée pour transmettre le champ électrique mais surtout de forte rigidité diélectrique pour ne pas claquer (les céramiques répondent à cette double contrainte et sont donc utilisables pour former le second corps de buse). Cette seconde électrode est ainsi entièrement protégée par ce matériau isolant et est conçue pour n'être jamais en contact avec le carburant ni avec l'air. A titre d'exemples de matériaux utilisables pour constituer tout ou partie de ces deux corps de buse, on peut citer en plus des céramiques le PVC et le « plexiglas », à titre non limitatif. A titre de matériaux utilisables pour constituer lesdites première et seconde électrodes, on peut citer tous matériaux électriquement conducteurs mais en outre chimiquement neutres vis-à-vis du liquide à projeter.

[0021] Pour pulvériser ce carburant sous forme de nappe, on peut pourvoir en outre ce dispositif selon l'invention de moyens pour amener au moins un flux gazeux, tel qu'un jet d'air, en aval dudit orifice de projection de sorte à optimiser encore cette pulvérisation.

[0022] Selon un premier mode de réalisation de l'invention, ledit canal présente une section transversale sensiblement rectangulaire de sorte à projeter le liquide sous forme de nappe plane, ladite première électrode présentant globalement une forme de lame plate et ladite seconde électrode une géométrie en forme de barreau, chaque électrode étant indépendamment continue ou discontinue (par exemple à la manière d'un peigne) vue en section transversale.

[0023] Selon un second mode de réalisation de l'invention, ledit canal présente une section transversale globalement annulaire (e.g. elliptique ou circulaire) de sorte à projeter le liquide sous forme de nappe à symétrie de révolution, ladite première électrode présentant une forme sensiblement conique divergeant vers ladite ou chaque extrémité saillante et ladite seconde électrode une forme sensiblement torique entourant concentriquement la première électrode, chaque électrode étant indépendamment continue ou discontinue vue en section transversale.

[0024] A titre préférentiel selon ce second mode de l'invention, ledit premier corps de buse est situé radialement à l'intérieur dudit second corps de buse qui l'entoure de manière concentrique de manière que lesdites première et seconde parois soient respectivement divergente et convergente en direction dudit canal, et lesdits moyens pour amener des flux gazeux sont localisés radialement à l'intérieur de ce premier corps et radialement à l'extérieur de ce second corps.

[0025] On notera que le dispositif selon ce second mode de l'invention ne nécessite pas de modifier la géométrie des injecteurs actuels, l'action électrostatique pouvant être utilisée seule ou bien se superposer à l'action mécanique usuelle du jet d'air sur la nappe pour en accroître l'efficacité et la sécurité. En effet, il suffit de pour-

voir desdites électrodes cet injecteur actuel à deux corps de buse interne et externe concentriques ménageant de tels flux d'air radialement interne et externe et à parois d'extrémité respectivement divergente et convergente, la structure de ces deux corps de buse pouvant être inchangée par ailleurs.

[0026] On notera également que le dispositif du second mode selon l'invention permet de simplifier considérablement les systèmes d'injection actuels sur les aéronefs en supprimant les injecteurs dédiés aux bas régimes de fonctionnement, puisque ce dispositif de l'invention est apte à assurer cette pulvérisation à bas régime par la force électrostatique selon l'invention complétée par des entrées d'air dues à un vent cisailant par exemple à 30 m/s. Ce dispositif de l'invention est ainsi de structure simple (deux électrodes seulement sont à prévoir), peu coûteux (les techniques de fabrication classiques avec jets d'air étant utilisables), est apte à fonctionner à tous les régimes y compris au sol, consomme une puissance électrique très faible (quelques watts seulement) et est extrêmement robuste et donc peu soumis à l'usure du fait qu'il est dépourvu de toute pièce mobile contrairement à certains dispositifs connus mettant en oeuvre une rotation du carburant.

[0027] De plus, ce dispositif selon le second mode de l'invention permet d'aider au réallumage du moteur en pulvérisant la quantité importante de carburant nécessaire.

[0028] Un injecteur selon l'invention d'un carburant par exemple électriquement isolant pour chambre de combustion d'un moteur thermique de véhicule terrestre, aérien ou spatial, en particulier pour un turboréacteur d'avion, comporte un dispositif apte à pulvériser ce carburant sous forme de nappe tel que défini ci-dessus et, de préférence, selon ce second mode préférentiel de l'invention avec lesdits flux gazeux qui sont localisés radialement à l'intérieur dudit premier corps et radialement à l'extérieur dudit second corps.

[0029] Comme indiqué précédemment, il est à noter que cet injecteur est notamment caractérisé par la position des deux électrodes qui sont situées le plus près possible de la sortie de l'injecteur (i.e. de la lèvre d'injection de la buse), étant précisé que de préférence cette lèvre d'injecteur est constituée en partie par la première électrode injectant les charges dans le carburant l'atteignant, avec la création des forces électrostatiques intenses précitées qui déstabilisent le film de carburant pour le pulvériser sous forme de nappe.

[0030] On notera également que les moyens électrostatiques de pulvérisation inclus dans un injecteur selon l'invention peuvent être utilisés seuls pour pulvériser le carburant, i.e. sans moyens de soufflage mécanique, mais que la combinaison de ces deux moyens permet d'accroître la performance et la fiabilité de l'aéronef notamment en cas de défaillance de l'un de ces deux moyens électrostatiques et mécaniques, l'autre prenant le relais.

[0031] On notera en outre qu'un injecteur selon l'in-

vention présente un faible encombrement, du fait que l'espace nécessaire à l'installation de ces moyens électrostatiques (i.e. essentiellement les deux électrodes, la source de haute tension et un dispositif de contrôle électronique) est réduit, et représente un gain écologique puisque l'optimisation de la pulvérisation s'accompagne d'une meilleure combustion, donc d'une consommation plus faible et par conséquent d'une baisse de la pollution générée.

[0032] D'autres utilisations selon l'invention d'un dispositif tel que défini ci-dessus peuvent consister, à titre non limitatif, à pulvériser un liquide choisi dans le groupe constitué par les liquides caloporteurs, les huiles de coupe pour machines-outils et les liquides de nettoyage de surfaces souillées, ou bien à réaliser une pompe électrohydrodynamique pour un échangeur de chaleur sans partie tournante par exemple destiné à équiper un véhicule aérien ou spatial à moteur thermique.

[0033] Un procédé selon l'invention pour projeter au moins par des forces électrostatiques et en particulier sous forme de nappe un liquide pouvant être électriquement isolant, tel qu'un carburant, en le pulvérisant ou en en contrôlant le battement des oscillations, consiste à utiliser un dispositif tel que défini ci-dessus en appliquant entre lesdites première et seconde électrodes un signal alternatif de tension dont l'amplitude est de préférence de plusieurs kV et est par exemple au moins égale à ± 20 kV, pour l'obtention d'un champ électrostatique local en ladite ou chaque extrémité saillante en contact avec le liquide d'intensité supérieure à 1 MV/cm et pouvant atteindre 10 MV/cm, des charges électriques étant ainsi directement injectées dans le liquide quittant le dispositif en cette extrémité.

[0034] On notera que l'utilisation d'un signal alternatif est indispensable au bon fonctionnement du dispositif selon l'invention, pour éviter l'accumulation de charges électriques à la surface du diélectrique solide qui sépare les première et seconde électrodes.

[0035] Selon une autre caractéristique de l'invention, la Demanderesse a découvert qu'une utilisation de signaux électriques particuliers permet une modulation fine et rapide de l'action électrique selon les besoins de l'injecteur de carburant et selon que l'on recherche une pulvérisation du carburant ou bien un contrôle du battement de ce dernier lorsqu'il n'est pas pulvérisé.

[0036] De plus, la modulation du signal électrique permet d'obtenir une variation immédiate ou progressive du comportement de l'injecteur par ces moyens électrostatiques, cette modulation permettant d'adapter de façon continue le fonctionnement de l'injecteur lors des changements de régime, grâce à un dispositif de contrôle électronique utilisé en relation avec l'injecteur.

[0037] Pour pulvériser ce liquide, on peut avantageusement utiliser une fréquence de ce signal au moins égale à 1 kHz, ce signal étant de préférence carré avec, par exemple, une fréquence égale ou supérieure à 2 kHz et un temps de montée voisin de 400 V/ μ s. On notera néanmoins que toutes les autres formes existantes de signaux

alternatifs sont utilisables pour obtenir cette pulvérisation, comme par exemple des signaux sinusoïdaux, triangulaires ou même sous forme d'impulsions.

[0038] Pour contrôler le battement des oscillations de ce liquide sans le pulvériser, on peut avantageusement utiliser une fréquence de ce signal comprise entre 5 Hz et 100 Hz, ce signal étant de préférence de type sinusoïdal ou triangulaire et de fréquence sensiblement égale à 50 Hz. On notera que ce contrôle du battement est notamment utile en cas d'association d'un ou de plusieurs jets d'air en plus de ces moyens électrostatiques.

[0039] Selon une autre caractéristique préférentielle de l'invention, l'on met en mouvement le liquide dans ledit canal avec une vitesse comprise entre 0,5 m/s et 2 m/s, et l'on obtient une nappe sensiblement plane ou à symétrie de révolution pour le liquide projeté d'épaisseur comprise entre 200 μ m et 500 μ m, de préférence en amenant en outre au moins un flux gazeux, tel qu'un jet d'air, en aval dudit orifice de projection et à une vitesse par exemple comprise entre 30 m/s et 200 m/s, pour optimiser la pulvérisation du carburant projeté par le dispositif.

[0040] Les caractéristiques précitées de la présente invention, ainsi que d'autres, seront mieux comprises à la lecture de la description suivante de plusieurs exemples de réalisation de l'invention, donnés à titre illustratif et non limitatif, ladite description étant réalisée en relation avec les dessins joints, parmi lesquels :

la figure 1 est une vue schématique partielle et en section axiale d'un dispositif de projection d'une nappe selon l'invention à symétrie de révolution pour injecteur de carburant,

la figure 2 est une vue schématique partielle et en section longitudinale suivant le plan II-II de la figure 9, d'un dispositif de projection selon l'invention d'une nappe plane de carburant correspondant à une variante simplifiée de la figure 1,

la figure 3 est une vue schématique en agrandissement de l'extrémité de projection du dispositif de la figure 2 montrant notamment un exemple de forme et d'agencement des deux électrodes équipant ce dispositif,

la figure 4 est une vue de dessous du premier corps de buse du dispositif de projection de la figure 2 (sans la première électrode à extrémité saillante prolongeant ce premier corps),

la figure 5 est une vue latérale de ce premier corps de buse de la figure 2 montré dépourvu de sa première électrode,

la figure 6 est une vue frontale de ce premier corps de buse de la figure 2 montré dépourvu de sa première électrode,

la figure 7 est une vue de dessous du second corps de buse du dispositif de projection de la figure 2, montrant le logement pratiqué dans ce corps de buse pour y recevoir la seconde électrode électriquement isolée,

la figure 8 est une vue latérale de ce second corps de buse de la figure 2,

la figure 9 est une vue frontale de ce second corps de buse de la figure 2,

la figure 10 est une juxtaposition de deux photographies montrant en vues de face deux nappes obtenues par le dispositif de la figure 2, la photographie de gauche montrant la nappe non pulvérisée obtenue sans les moyens électrostatiques de l'invention, et celle de droite la nappe pulvérisée selon l'invention qui est obtenue par ces moyens,

la figure 11 est une juxtaposition de deux autres photographies montrant en vue de profil deux nappes obtenues par le dispositif de la figure 2, la photographie de gauche montrant la nappe non pulvérisée et sans battement obtenue sans les moyens électrostatiques de l'invention, et celle de droite la nappe non pulvérisée mais soumise au battement qui est obtenue par ces moyens,

la figure 12 est une juxtaposition de deux rangées de quatre photographies chacune montrant en vue de face, pour quatre vitesses différentes de nappes, ces dernières à l'état non pulvérisé à la rangée du haut (i.e. sans les moyens électrostatiques) et à l'état pulvérisé à la rangée du bas (i.e. avec ces moyens, via un signal électrique carré de fréquence 2kHz et ± 30 kV d'amplitude),

la figure 13 est une juxtaposition de deux rangées de quatre photographies chacune montrant les nappes de la figure 12 en vue de profil, (i.e. pour les mêmes vitesses de nappes, à l'état non pulvérisé à la rangée du haut et à l'état pulvérisé à la rangée du bas via ce même signal électrique),

la figure 14 est une juxtaposition de six rangées de deux photographies chacune montrant en vue de face (pour les photographies de gauche) et en vue de profil (pour celles de droite) l'influence, sur la pulvérisation de la nappe, de la fréquence du signal électrique carré d'amplitude ± 30 kV utilisé en relation avec ces moyens, la vitesse de la nappe étant de 1 m/s,

la figure 15 est une juxtaposition de quatre rangées de deux photographies chacune (à l'exception de la seconde rangée) montrant en vue de face (pour les photographies de gauche) et en vue de profil (pour celles de droite) l'influence, sur la pulvérisation de la nappe, de l'amplitude du signal électrique carré de fréquence 1 kHz utilisé en relation avec ces moyens,

la figure 16 est une juxtaposition de quatre rangées de deux photographies chacune (à l'exception de la première rangée) montrant l'influence, sur le battement de la nappe, de la forme du signal (sinusoïdale pour les photographies de gauche et triangulaire pour celles de droite) et de la fréquence de ce signal d'amplitude ± 30 kV utilisé en relation avec ces moyens, la vitesse de la nappe étant de 1 m/s, et la figure 17 est une juxtaposition de deux rangées

de trois photographies chacune montrant l'influence, sur le battement de la nappe, de la forme du signal (sinusoïdale pour la rangée supérieure et triangulaire pour la rangée inférieure) et de la fréquence de ce signal (avec trois fréquences pour chaque rangée) d'amplitude ± 30 kV utilisé en relation avec ces moyens, la vitesse de la nappe étant de 1 m/s.

[0041] Le dispositif 1 de projection de liquide 2 illustré à la figure 1 représente un mode de réalisation préférentiel d'une buse pour injecteur de carburant selon l'invention. Comme cela sera expliqué ci-après, la buse 1 peut être utilisée au choix pour pulvériser le carburant 2 ou pour contrôler le battement de son oscillation, et elle comporte essentiellement :

- un premier corps de buse 3 radialement interne, électriquement isolant et en forme de tube creux à surface externe 4 cylindrique dont l'espace interne est avantageusement conçu pour acheminer un jet d'air central 5 radialement à l'intérieur de la nappe de carburant 2 projetée par la buse 1 (cylindrique dans le schéma de la figure 1, étant entendu que cette nappe pourrait être conique) de sorte à en améliorer la pulvérisation par exemple, ce premier corps 3 se terminant par une surface interne conique 6 qui diverge radialement vers l'extérieur et qui est recouverte d'une première électrode 7 (par exemple métallique) épousant cette surface 6 et de section axiale rectiligne se terminant par une pointe en saillie 7a radialement à l'extérieur de la surface externe 4 de sorte à être au contact du carburant 2 projeté,
- un second corps de buse 8 radialement externe, électriquement isolant et en forme de tube creux à surface interne 9 cylindrique dont l'espace externe est avantageusement conçu pour acheminer un autre jet d'air périphérique 10 radialement à l'extérieur de la nappe projetée de carburant 2, ce second corps 8 se terminant par une surface externe conique 11 qui converge radialement vers l'intérieur pour se terminer sensiblement en regard de la pointe 7a de la première électrode 7, et qui renferme dans sa masse une seconde électrode 12 (par exemple métallique) à proximité immédiate de l'extrémité aval de ce second corps 8 et donc de la première électrode 7, et
- des moyens 13 de génération et de contrôle d'un signal électrique alternatif appliqué entre les électrodes 7 et 12 (de forme, d'amplitude et de fréquence réglables, comme expliqué ci-dessous), lesquelles sont reliées à une source de haute tension HT incluse dans ces moyens 13.

[0042] Le positionnement relatif des deux corps de buse 3 et 8 définit un étroit canal 14 d'amenée du carburant 2 à projeter de section annulaire, avec un espacement E entre ces deux corps 3 et 8 par exemple compris entre 100 μm et 500 μm , déterminant ainsi l'épaisseur de la

nappe de carburant 2 projetée (avec une vitesse de sortie par exemple de l'ordre de 1 m/s).

[0043] Plus précisément, la première électrode 7 est conçue pour injecter directement des charges électriques dans le carburant 2 dans lequel sa pointe 7a est immergée en fonctionnement, en servant de lèvre d'injecteur à la buse 1 du fait que cette électrode 7 constitue partiellement le bord 15 de l'orifice de projection de la buse 1. Cette injection directe au niveau de la pointe 7a est réalisée grâce à un champ électrostatique d'intensité très élevée (plusieurs MV/cm pouvant aller jusqu'à 10 MV/cm) que l'on génère en cette pointe 7a par la haute tension HT appliquée entre les deux électrodes 7 et 12, grâce au rayon de courbure suffisamment faible de cette pointe 7a qui est par exemple d'environ 10 μm . Quant au matériau du premier corps 3 constituant le support isolant de cette première électrode 7, il est choisi de permittivité ϵ_r faible pour maximiser l'intensité du champ électrostatique au voisinage de la pointe 7a, cette permittivité étant de préférence inférieure à celle du liquide 2 à projeter soit inférieure à 2,2 pour un carburant diesel de type « GASOIL », par exemple.

[0044] La seconde électrode 12 est entièrement noyée dans le second corps de buse 8 qui l'isole électriquement pour empêcher la formation d'arcs électriques entre les deux électrodes 7 et 12. L'électrode 12 présente une géométrie dépourvue d'angles ou d'arêtes (avantageusement convexe ou arrondie, étant globalement en forme de tore dans l'exemple de la figure 1) qui limite le champ électrique à sa surface ainsi que les contraintes sur le matériau isolant qui est au contact de cette électrode 12. Ce matériau isolant présente une rigidité diélectrique choisie la plus élevée possible, et une permittivité également élevée ($\epsilon_r > 5$ de préférence) pour maximiser l'intensité du champ électrostatique au voisinage de la première électrode 7.

[0045] Quant aux deux jets d'air 5 et 10 précités qui sont conçus pour venir souffler sur les faces respectivement interne et externe de la nappe 2 émise, leur vitesse peut varier de 30 m/s à 200 m/s à titre d'exemple.

[0046] On notera que l'injecteur électrostatique 1 selon l'invention de la figure 1 se distingue uniquement d'un injecteur de l'état antérieur de la technique par l'ajout et l'agencement spécifique des deux électrodes 7 et 12 en relation avec les moyens 13 de génération et de contrôle du signal électrique alternatif entre ces électrodes 7 et 12. En d'autres termes, l'architecture générale d'un tel injecteur connu n'a pas été modifiée, l'effet électrostatique se superposant avantageusement ou non à l'effet aéromécanique, ce qui permet de disposer d'une action mécanique seule, d'une action électrostatique seule ou bien de ces deux actions de façon simultanée pour la pulvérisation du carburant 2.

[0047] Comme expliqué précédemment, il est à noter que la nappe de carburant 2 ainsi chargée subit l'action des forces électrostatiques qui engendrent au choix soit sa pulvérisation, soit son oscillation contrôlée, selon le signal électrique appliqué entre les électrodes 7 et 12,

et que cette pulvérisation ou le contrôle de cette oscillation sont optimisées par les géométries respectives de ces électrodes 7 et 12 qui sont conçues pour maximiser le champ électrostatique sur la première électrode 7 et donc l'injection directe des charges électriques dans le carburant 2.

[0048] On a testé, en référence aux figures 2 à 9 (cotes exprimées en mm), une buse 101 de projection de carburant à canal de projection 114 plan, cette géométrie ayant été retenue pour des raisons de simplicité et du fait qu'elle est représentative des résultats obtenus avec un dispositif à symétrie de révolution (i.e. axisymétrique du type de celui de la figure 1) à canal de projection 14 de section annulaire. On a utilisé pour ces essais deux prototypes plans de même structure mais réalisés avec des matériaux électriquement isolants différents, le premier ayant ses deux corps de buse 103 et 108 en PVC et le second en « plexiglas » (avec une permittivité ϵ_r de 4,5, une résistivité de $10^{15} \Omega \cdot \text{m}$ et une rigidité diélectrique $> 40 \text{ kV/mm}$ en courant alternatif). Quant au carburant utilisé, il s'agit de « GASOIL » de masse volumique égale à 860 kg/m^3 , de permittivité relative $\epsilon_r = 2,2$, de résistivité allant compris entre 10^9 et $10^{10} \Omega \cdot \text{m}$ et de viscosité cinématique égale à $4,3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$.

[0049] La buse de projection 101 visible à ces figures 2 à 9 comporte deux premier et second corps de buse 103 et 108 qui sont respectivement pourvus des première et seconde électrodes 107 et 112 et qui se différencient essentiellement de ceux de la figure 1 en ce que ces corps 103 et 108 présentent chacun une même géométrie de section transversale rectangulaire, en lieu et place de la section transversale annulaire de ceux de la figure 1 (cette forme rectangulaire est visible aux figures 4 et 6 pour le premier corps 103 et aux figures 7 et 9 pour le second 108).

[0050] L'extrémité amont de ces deux corps 103 et 108 est dans l'exemple de la figure 2 surmontée d'un chapeau 116 venant fermer une chambre de tranquillisation 117 du carburant qui présente une section longitudinale rectangulaire et qui est délimitée par les faces internes respectives des deux corps 103 et 108, symétriques l'une de l'autre par rapport au canal central 114 de projection du carburant. Plus précisément, la chambre 117 et ce canal 114 sont centrés sur l'axe longitudinal de symétrie X de la buse 101, et un orifice central 116a ménagé dans le chapeau 116 permet l'arrivée du carburant dans la chambre 117, laquelle se rétrécit à angle droit à proximité de l'extrémité aval de la buse 101 par deux épaulements 103a et 108a que présentent les faces internes des corps 103 et 108. Ce canal 114 forme un tronçon terminal de faible largeur l (1 mm, voir figure 3) qui communique en amont avec la chambre 117 et aboutit à l'extrémité aval profilée de la buse 101 formée par les surfaces externes obliques respectives 103b et 108b des deux corps 103 et 108.

[0051] La première électrode 107 (réalisée en acier chromé) est en forme de lame plate qui s'étend sur la majeure partie de la surface externe oblique 103b du

premier corps 103 et qui se termine par une extrémité pointue 107a faisant obliquement saillie dans le canal 114, de telle manière que cette extrémité saillante 107a définisse partiellement le bord 115 de l'orifice aval de projection de la buse 101 (voir figure 3) conjointement à l'arête terminale aigue du second corps 108, la largeur e entre cette extrémité saillante 107a et cette arête en regard étant dans cet exemple de 300 μm .

[0052] Quant à la seconde électrode 112 (également réalisée en acier chromé), elle est noyée dans cet exemple de réalisation dans une résine isolante 112a de type époxy qui vient remplir une cavité débouchant sur la surface externe oblique 108b du second corps 108 dans la zone profilée de ce dernier et à proximité immédiate de ladite arête. On voit aux figures 2 et 3 que cette résine isolante 112a forme ainsi une partie de la surface oblique 108b et est en contact avec le matériau isolant (e.g. PVC ou « plexiglas ») du second corps 108. Cette seconde électrode 112 présente dans cet exemple une section longitudinale oblongue et arrondie qui est sensiblement elliptique.

[0053] On notera que la connectique des électrodes 107 et 112 n'a pas été représentée sur ces figures 2 à 9 pour des raisons de clarté.

[0054] On a ainsi obtenu des nappes projetées sensiblement planes avec des vitesses de nappes comprises entre 0,5 m/s et 2 m/s, chaque nappe ayant une section rectangulaire de longueur environ égale à 8 cm (dans la direction transversale des figures 6 et 9) et de largeur environ égale à 4 cm (dans la direction longitudinale de ces figures), avec une épaisseur de nappe d'environ 300 μm (correspondant à la largeur e précitée de l'orifice de projection).

[0055] Les figures 11 à 17 présentent les nappes obtenues lors d'essais réalisés en l'absence d'écoulement d'air (i.e. seulement par les moyens électrostatiques comprenant ces électrodes 107 et 112), au moyen du dispositif de projection 101 selon ces figures 2 à 9 dont les corps de buse 103 et 108 sont réalisés en « plexiglas » (à l'exception de la résine en époxy 112a précitée).

[0056] Sur l'image de gauche de la figure 10, on voit que la nappe projetée de carburant non pulvérisé (du fait de l'absence de signal électrique généré entre les électrodes) est parfaitement stable en vue de face, alors que l'image de droite de cette figure 10 illustre la pulvérisation efficace obtenue par la seule injection forcée de charges électriques selon l'invention (via un signal électrique alternatif), les moyens électrostatiques étant ainsi capables à eux seuls de pulvériser la nappe.

[0057] Sur l'image de gauche de la figure 11, on voit que la nappe projetée de carburant non pulvérisé (du fait de l'absence de signal électrique) est parfaitement linéaire (i.e. sans battement) vue de profil, alors que l'image de droite de cette figure 11 montre que la génération d'un signal alternatif adéquat entre les électrodes (voir ci-dessous) permet de contraindre la nappe de carburant avec un battement donné d'oscillations.

[0058] Sur la rangée supérieure d'images de la figure 12, sont illustrées en vue de face quatre nappes projetées sans pulvérisation (du fait de l'absence de signal électrique) à des vitesses respectives de 0,6 m/s, 1 m/s, 1,5 m/s et 2 m/s, alors que la rangée inférieure d'images de cette figure 12 montre la pulvérisation obtenue selon l'invention à ces quatre vitesses de nappe via un signal électrique carré de 2 kHz et d'amplitude ± 30 kV.

[0059] Sur la rangée supérieure d'images de la figure 13, sont illustrées en vue de profil quatre nappes projetées sans pulvérisation (du fait de l'absence de signal électrique) à ces quatre mêmes vitesses, alors que la rangée inférieure d'images de cette figure 13 montre la pulvérisation obtenue selon l'invention à ces vitesses de nappe via ce même signal électrique carré de 2 kHz et d'amplitude ± 30 kV. On voit à cette rangée inférieure que les grosses gouttes (de 1 mm à 3 mm de diamètre) qui proviennent pour la plupart des bords de la nappe sont visibles au centre, et qu'une multitude de petites gouttes de très faible diamètre (inférieure à 100 μm) sont également visibles de part et d'autre du jet central.

[0060] La figure 14 montre l'influence sur la qualité de la pulvérisation obtenue (avec une vitesse de nappe de 1 m/s) de la fréquence d'un signal électrique carré d'amplitude ± 30 kV, cette fréquence variant de 0 Hz à la rangée du haut (i.e. en l'absence de signal) à la fréquence maximale de 2 kHz à la rangée du bas. On voit que l'utilisation de hautes fréquences (i.e. d'au moins 500 Hz) et de préférence comprises entre 1 et 2 kHz procure une pulvérisation satisfaisante de la nappe.

[0061] La figure 15 montre l'influence sur la qualité de la pulvérisation obtenue de l'amplitude du signal électrique carré de 1 kHz. On voit que cette amplitude doit être dans cet exemple supérieure à ± 20 kV pour l'obtention d'une nappe finement pulvérisée.

[0062] Les deux colonnes d'images de la figure 16 (vues de face) montrent l'influence sur le battement de nappe obtenu de la forme et de la fréquence du signal alternatif, pour une même amplitude de signal égale à ± 30 kV et pour une vitesse du carburant de 1 m/s. A la colonne de gauche sont illustrées les nappes obtenues pour un signal sinusoïdal et à celle de droite pour un signal triangulaire, dans les deux cas pour des fréquences allant de 5 Hz à 100 Hz.

[0063] Les deux rangées d'images de la figure 17 (vues de profil) complètent ces vues de la figure 16 pour trois de ces fréquences (5 Hz, 10 Hz et 50 Hz) et permettent de visualiser le battement obtenu pour les signaux sinusoïdaux (rangée supérieure) et triangulaires (rangée inférieure).

[0064] Il ressort de ces figures 10 à 17 que les dispositifs de projection selon l'invention fonctionnent de manière satisfaisante avec tous les types de signaux alternatifs classiques (i.e. de type carré, sinusoïdal, triangulaire et même à impulsions). Plus précisément, l'utilisation spécifique d'une basse fréquence (supérieure à 50 Hz) associée à un signal « doux » de type sinusoïdal ou triangulaire permet d'obtenir un battement de la nappe

sans pulvérisation, alors que l'utilisation de hautes fréquences (jusqu'à 2 kHz) permet d'obtenir une pulvérisation fine de la nappe (des pulvérisations d'excellente qualité ont été obtenues avec un signal carré de 2 kHz). On peut néanmoins envisager de pulvériser les nappes de manière satisfaisante (i.e. avec une pulvérisation secondaire optimisée) avec un dispositif selon l'invention à des fréquences de signaux alternatifs supérieures à 2 kHz.

Revendications

1. Dispositif de projection (1, 101) en particulier sous forme de nappe d'un liquide (2) pouvant être électriquement isolant au moins par des forces électrostatiques, le dispositif étant conçu pour pulvériser ce liquide ou pour en contrôler le battement des oscillations, ce dispositif comprenant une buse qui forme un canal d'amenée (14, 114) du liquide vers au moins un orifice de projection (15, 115) de ce dernier hors du dispositif et qui incorpore à proximité de cet orifice une première et une seconde électrodes (7, 107 et 12, 112) agencées pour injecter des charges électriques dans le liquide, **caractérisé en ce que** le bord (15, 115) de cet orifice comprend, d'un côté du canal, au moins une extrémité saillante (7a, 107a) de la première électrode (7, 107) qui fait saillie dans ce canal et qui est destinée à être en contact avec le liquide et, d'un autre côté du canal, un corps de buse (8, 108) électriquement isolant dans lequel est noyée la seconde électrode (12, 112) de manière adjacente à la première électrode, de telle sorte que l'intensité du champ électrostatique en ladite ou chaque extrémité saillante soit maximisée.
2. Dispositif (1, 101) selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** ledit canal (14, 114) est délimité par des premier et second corps de buse (3, 103 et 8, 108) électriquement isolants qui sont montés en regard l'un de l'autre et qui incorporent respectivement lesdites première et seconde électrodes (7, 107 et 12, 112) en des zones profilées de ces corps aboutissant audit orifice de projection (15, 115), la première électrode s'étendant sur une première paroi (6, 103b) intérieure audit canal définissant la zone profilée du premier corps et se terminant au-delà de cette paroi par ladite ou chaque extrémité en saillie (7a, 107a) dans le canal, et la seconde électrode étant adjacente à une seconde paroi extérieure (11, 108b) au canal définissant la zone profilée du second corps.
3. Dispositif (1, 101) selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** ladite ou chaque extrémité saillante (7a, 107a) présente un rayon de courbure principal compris entre 5 μm et 15 μm et est de préférence en forme de pointe, ledit orifice de projection (15, 115) présentant une plus petite dimension trans-

versale comprise entre 100 μm et 500 μm .

4. Dispositif (1, 101) selon une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** ladite première électrode (7, 107) est globalement rectiligne en section longitudinale, ladite seconde électrode (12, 112) présentant une surface externe convexe qui est de préférence elliptique ou circulaire en section longitudinale de sorte à minimiser l'intensité du champ électrostatique en cette surface.
5. Dispositif (1, 101) selon la revendication 2 et l'une des revendications 3 et 4, ce dispositif étant apte à projeter un carburant à titre de liquide (2), **caractérisé en ce que** ledit premier corps de buse (3, 103) présente une permittivité relative ϵ_r inférieure ou égale à 10, et **en ce que** ledit second corps de buse (8, 108) présente une permittivité relative ϵ_r égale ou supérieure à 2 de sorte à maximiser encore l'intensité du champ électrostatique au voisinage de ladite première électrode (7, 107), et de préférence **en ce que** ce dispositif est apte à générer ledit champ électrostatique local avec une intensité supérieure à 1 MV/cm en ladite ou chaque extrémité saillante (7a, 107a) lorsque l'on applique une tension alternative entre lesdites première et seconde électrodes (7, 107 et 12, 112).
6. Dispositif (1) selon une des revendications précédentes, ce dispositif étant apte à pulvériser sous forme de nappe un carburant à titre de liquide (2), **caractérisé en ce qu'il** comporte en outre des moyens pour amener au moins un flux gazeux (5, 10), tel qu'un jet d'air, en aval dudit orifice de projection (15) de sorte à optimiser la pulvérisation du carburant projeté par le dispositif.
7. Dispositif (101) selon une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** ledit canal (114) présente une section transversale sensiblement rectangulaire de sorte à projeter le liquide sous forme de nappe plane, ladite première électrode (107) présentant globalement une forme de lame plate et ladite seconde électrode (112) une géométrie en forme de barreau, chaque électrode étant indépendamment continue ou discontinue vue en section transversale.
8. Dispositif (1) selon une des revendications 1 à 6, **caractérisé en ce que** ledit canal (14) présente une section transversale globalement annulaire de sorte à projeter le liquide (2) sous forme de nappe à symétrie de révolution, ladite première électrode (7) présentant une forme sensiblement conique divergeant vers ladite ou chaque extrémité saillante (7a) et ladite seconde électrode (12) une forme sensiblement torique entourant concentriquement la première électrode, chaque électrode étant indépendamment continue ou discontinue vue en section trans-

versale.

9. Dispositif (1) selon les revendications 2, 6 et 8, **caractérisé en ce que** ledit premier corps de buse (3) est situé radialement à l'intérieur dudit second corps de buse (8) qui l'entoure de manière concentrique de manière que lesdites première et seconde parois (6 et 11) soient respectivement divergente et convergente en direction dudit canal (14), et **en ce que** lesdits moyens pour amener des flux gazeux (5, 10) sont localisés radialement à l'intérieur de ce premier corps et radialement à l'extérieur de ce second corps. 5
10. Dispositif selon une des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'il** forme une pompe électro-hydrodynamique pour un échangeur de chaleur sans partie tournante par exemple destiné à équiper un véhicule aérien ou spatial à moteur thermique. 10
11. Injecteur d'un carburant (2) pouvant être électriquement isolant pour chambre de combustion d'un moteur thermique de véhicule terrestre, aérien ou spatial, en particulier pour un turboréacteur d'avion, **caractérisé en ce qu'il** comporte un dispositif (1) apte à pulvériser ce carburant sous forme d'une nappe selon une des revendications 1 à 9 et, de préférence, selon la revendication 9. 15
12. Utilisation d'un dispositif selon une des revendications 1 à 9 pour pulvériser un liquide choisi dans le groupe constitué par les liquides caloporteurs, les huiles de coupe pour machines-outils et les liquides de nettoyage de surfaces souillées. 20
13. Procédé pour projeter au moins par des forces électrostatiques et en particulier sous forme de nappe un liquide (2) pouvant être électriquement isolant, tel qu'un carburant, en le pulvérisant ou en en contrôlant le battement des oscillations, **caractérisé en ce qu'il** consiste à utiliser un dispositif (1, 101) selon une des revendications 1 à 10 en appliquant entre lesdites première et seconde électrodes (7, 107 et 12, 112) un signal alternatif de tension dont l'amplitude est de préférence de plusieurs kV, pour l'obtention d'un champ électrostatique local en ladite ou chaque extrémité saillante (7a, 107a) d'intensité supérieure à 1 MV/cm, des charges électriques étant ainsi directement injectées dans le liquide quittant le dispositif en cette extrémité. 25
14. Procédé selon la revendication 13, **caractérisé en ce que** pour pulvériser ce liquide (2), on utilise une fréquence de ce signal au moins égale à 1 kHz, ce signal étant de préférence carré et de fréquence de préférence égale ou supérieure à 2 kHz, ou bien **en ce que** pour contrôler le battement des oscillations 30

de ce liquide (2) sans le pulvériser, on utilise une fréquence de ce signal comprise entre 5 Hz et 100 Hz, ce signal étant de préférence de type sinusoïdal ou triangulaire et de fréquence sensiblement égale à 50 Hz.

15. Procédé selon la revendication 13, **caractérisé en ce que** l'on met en mouvement le liquide (2) dans ledit canal (14, 114) avec une vitesse comprise entre 0,5 m/s et 2 m/s, et **en ce que** l'on obtient une nappe sensiblement plane ou à symétrie de révolution pour le liquide projeté d'épaisseur comprise entre 200 μm et 500 μm , de préférence en amenant en outre au moins un flux gazeux (5, 10), tel qu'un jet d'air, en aval dudit orifice de projection (15) et à une vitesse par exemple comprise entre 30 m/s et 200 m/s, pour optimiser la pulvérisation du carburant projeté par le dispositif (1, 101). 35

Patentansprüche

1. Sprühhvorrichtung (1, 101) zum insbesondere schichtförmigen Versprühen einer etwaig elektrisch isolierenden Flüssigkeit (2) zumindest durch elektrostatische Kräfte, wobei die Vorrichtung dazu ausgelegt ist, diese Flüssigkeit zu zerstäuben bzw. deren Schwingungsausschlag zu steuern, wobei diese Vorrichtung eine Düse umfasst, die einen Zuführkanal (14, 114) zum Zuführen der Flüssigkeit zu zumindest einer Sprühhöffnung (15, 115) desselben aus der Vorrichtung bildet und in der Nähe von dieser Öffnung eine erste und eine zweite Elektrode (7, 107 und 12, 112) umfasst, die dazu ausgebildet sind, elektrische Ladungen in die Flüssigkeit einzuspritzen, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Rand (15, 115) dieser Öffnung auf einer Seite des Kanals zumindest ein vorspringendes Ende (7a, 107a) der ersten Elektrode (7, 107) aufweist, das in diesen Kanal vorspringt und dazu bestimmt ist, mit der Flüssigkeit in Kontakt zu sein, und auf der anderen Seite des Kanals einen elektrisch isolierenden Düsenkörper (8, 108) aufweist, in den die zweite Elektrode (12, 112) angrenzend an die erste Elektrode eingebettet ist, so dass die Stärke des elektrostatischen Feldes an dem oder jedem vorspringenden Ende maximiert ist. 40
2. Vorrichtung (1, 101) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Kanal (14, 114) von einem ersten und einem zweiten elektrisch isolierenden Düsenkörper (3, 103 und 8, 108) begrenzt wird, die einander gegenüberliegend angebracht sind und jeweils eine erste bzw. zweite Elektrode (7, 107 und 12, 112) in profilierten Bereichen dieser Körper umfassen, die an der Sprühhöffnung (15, 115) enden, wobei die erste Elektrode sich über eine erste Wand (6, 103b) innerhalb des Kanals erstreckt, die den pro- 45

filierten Bereich des ersten Körpers definiert, und über diese Wand hinaus mit dem bzw. jeden vorspringenden Ende (7a, 107a) in diesem Kanal endet, und wobei die zweite Elektrode an eine zweite Wand (11, 108b) außerhalb des Kanals angrenzt, die den profilierten Bereich des zweiten Körpers definiert.

3. Vorrichtung (1, 101) nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** das bzw. jedes vorspringende Ende (7a, 107a) einen Hauptkrümmungsradius zwischen 5 μm und 15 μm aufweist und vorzugsweise in Form einer Spitze vorliegt, wobei die Sprühöffnung (15, 115) eine kleinere Querabmessung zwischen 100 μm und 500 μm aufweist.
4. Vorrichtung (1, 101) nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die erste Elektrode (7, 107) im Längsschnitt insgesamt geradlinig ist, wobei die zweite Elektrode (12, 112) eine konvexe Außenfläche hat, die im Längsschnitt vorzugsweise elliptisch oder kreisförmig ist, so dass die Stärke des elektrostatischen Feldes in dieser Fläche minimiert ist.
5. Vorrichtung (1, 101) nach Anspruch 2 und einem der Ansprüche 3 und 4, wobei diese Vorrichtung dazu geeignet ist, einen Kraftstoff als Flüssigkeit (2) zu versprühen, **dadurch gekennzeichnet, dass** der erste Düsenkörper (3, 103) eine relative Dielektrizitätskonstante ϵ_r kleiner oder gleich 10 aufweist und dass der zweite Düsenkörper (8, 108) eine relative Dielektrizitätskonstante ϵ_r gleich oder größer als 2 aufweist, so dass die Stärke des elektrostatischen Feldes benachbart zur ersten Elektrode (7, 107) weiter maximiert ist, und dass vorzugsweise diese Vorrichtung dazu geeignet ist, das lokale elektrostatische Feld mit einer Stärke über 1 MV/cm an dem bzw. jedem vorspringenden Ende (7a, 107a) zu erzeugen, wenn eine Wechselspannung zwischen der ersten und der zweiten Elektrode (7, 107 und 12, 112) angelegt wird.
6. Vorrichtung (1) nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei diese Vorrichtung dazu geeignet ist, einen Brennstoff als Flüssigkeit (2) in Form einer Schicht zu zerstäuben, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie ferner Einrichtungen zum Zuführen von zumindest einer Gasströmung (5, 10), wie etwa einen Luftstrahl, hinter die Sprühöffnung (15) enthält, so dass das Zerstäuben des von dieser Vorrichtung versprühten Brennstoffs optimiert wird.
7. Vorrichtung (101) nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Kanal (114) einen im Wesentlichen rechteckförmigen Querschnitt aufweist, so dass die Flüssigkeit in Form einer flachen Schicht versprüht wird, wobei die erste Elektrode (107) insgesamt die Form eines fla-

chen Stegs aufweist und die zweite Elektrode (112) eine stabförmige Geometrie hat, wobei im Querschnitt betrachtet jede Elektrode unabhängig durchgehend oder unterbrochen ausgeführt ist.

8. Vorrichtung (101) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Kanal (14) einen im Wesentlichen ringförmigen Querschnitt aufweist, so dass die Flüssigkeit (2) in Form einer rotationssymmetrischen Schicht versprüht wird, wobei die erste Elektrode (7) eine im Wesentlichen konische Form aufweist, die zu dem bzw. jedem vorspringenden Ende (7a) hin divergiert, und die zweite Elektrode (12) eine im Wesentlichen torische Form aufweist, die die erste Elektrode konzentrisch umgibt, wobei im Querschnitt betrachtet jede Elektrode unabhängig durchgehend oder unterbrochen ausgeführt ist.
9. Vorrichtung (1) nach den Ansprüchen 2, 6 und 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** der erste Düsenkörper (3) radial innerhalb des zweiten Düsenkörpers (8) liegt, der diesen konzentrisch umgibt, so dass die erste und die zweite Wand (6 und 11) divergierend bzw. konvergierend in Richtung des Kanals (14) verlaufen, und dass die Einrichtungen zum Zuführen der Gasströmungen (5, 10) radial innerhalb dieses ersten Körpers und radial außerhalb dieses zweiten Körpers liegen.
10. Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie eine elektro-hydrodynamische Pumpe für einen drehteilfreien Wärmetauscher bildet, der beispielsweise dazu bestimmt ist, in einem Luft- oder Raumfahrzeug mit Verbrennungsmotor montiert zu werden.
11. Injektor für einen Kraftstoff (2), der elektrisch isolierend sein kann, für einen Brennraum eines Verbrennungsmotors eines Land-, Luft- oder Raumfahrzeugs, insbesondere für ein Flugzeug-Strahltriebwerk, **dadurch gekennzeichnet, dass** er eine Vorrichtung (1) zum schichtförmigen Zerstäuben dieses Kraftstoffs nach einem der Ansprüche 1 bis 9 und vorzugsweise nach Anspruch 9 enthält.
12. Verwendung einer Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9 zum Zerstäuben einer Flüssigkeit, ausgewählt aus der Gruppe umfassend Wärmeträgerflüssigkeiten, Kühlschmierstofföl für Werkzeugmaschinen und Reinigungsflüssigkeiten für verschmutzte Flächen.
13. Verfahren zum zumindest durch elektrostatische Kräfte erfolgenden und insbesondere schichtförmigen Versprühen einer Flüssigkeit (2), die elektrisch isolierend sein kann, wie etwa eines Kraftstoffs, indem diese zerstäubt wird bzw. deren Schwingungs-

ausschlag gesteuert wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** es darin besteht, eine Vorrichtung (1, 101) nach einem der Ansprüche 1 bis 10 zu verwenden, indem zwischen der ersten und der zweiten Elektrode (7, 107 und 12, 112) ein Wechsellspannungssignal angelegt wird, dessen Amplitude vorzugsweise mehrere kV beträgt, um ein lokales elektrostatisches Feld an dem bzw. jedem vorspringenden Ende (7a, 107a) mit einer Stärke von über 1 MV/cm zu erhalten, wobei die elektrischen Ladungen so direkt in die Flüssigkeit eingeleitet werden, welche die Vorrichtung an diesem Ende verlässt.

14. Verfahren nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** zum Zerstäuben dieser Flüssigkeit (2) eine Frequenz dieses Signals von zumindest 1 kHz verwendet wird, wobei dieses Signal vorzugsweise quadratisch ist und eine Frequenz vorzugsweise gleich oder mehr als 2 kHz hat, oder dass zum Steuern des Schwingungsausschlags dieser Flüssigkeit (2), ohne diese zu zerstäuben, eine Frequenz dieses Signals zwischen 5 Hz und 100 Hz verwendet wird, wobei dieses Signals vorzugsweise sinusförmig oder dreieckförmig ist und die Frequenz im Wesentlichen gleich 50 Hz ist.
15. Verfahren nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Flüssigkeit (2) in dem Kanal (14, 114) mit einer Geschwindigkeit zwischen 0,5 m/s und 2 m/s in Bewegung versetzt wird und dass eine im Wesentlichen flache oder rotationssymmetrische Schicht für die versprühte Flüssigkeit mit einer Dicke zwischen 200 μm und 500 μm erhalten wird, indem vorzugsweise ferner zumindest eine Gasströmung (5, 10), wie etwa ein Luftstrahl, hinter der Sprühöffnung (15) mit einer Geschwindigkeit beispielsweise zwischen 30 m/s und 200 m/s zugeführt wird, um das Zerstäuben des von der Vorrichtung (1, 101) versprühten Kraftstoffs zu optimieren.

Claims

1. A device for spraying (1,101), in particular in the form of a sheet, a liquid (2) that can be electrically insulating at least through electrostatic forces, the device being designed to atomize this liquid or to control the beat of the oscillations thereof, this device comprising a nozzle which forms a channel for feeding (14,114) the liquid to at least one orifice for spraying (15,115) said liquid out of the device and which incorporates, in proximity to this orifice, a first electrode and a second electrode (7,107 and 12,112) configured to inject electric charges into the liquid, **characterized in that** the edge of this orifice comprises, on one side of the channel, at least one protruding end (7a,107a) of the first electrode which protrudes into this channel and which is configured to be in

contact with the liquid and, on another side of the channel, an electrically insulating nozzle body (8,108) in which the second electrode (12,112) is embedded adjacent to the first electrode, so that the intensity of the electrostatic field at said or each protruding end is maximized.

2. The device (1,101) according to claim 1, wherein said channel (14,114) is delimited by a first and a second electrically insulating nozzle bodies (3,103 and 8,108) which are mounted facing one another and which respectively incorporate said first and second electrodes (7,107 and 12,112) in profiled regions of these bodies ending at said spraying orifice (5,115), the first electrode extending on a first wall (6, 103b) inside said channel defining the profiled region of the first body and ending beyond this wall by said or each end protruding (7a,107) into the channel, and the second electrode being adjacent to a second wall (11,108b) outside the channel defining the profiled region of the second body.
3. The device (1,101) according to claim 1 or 2, wherein said or each protruding end (7a,107) has a main radius of curvature of between 5 μm and 15 μm and is preferably pointed, said spraying orifice (15,115) having a smaller transversal dimension of between 100 μm and 500 μm .
4. The device (1,101) according to any of preceding claims, wherein said first electrode (7,107) is overall rectilinear in longitudinal section, said second electrode (12,112) having a convex outer surface which is preferably elliptical or circular in longitudinal section so as to minimize the intensity of the electrostatic field at this surface.
5. The device (1,101) according to claim 2 and any of claims 3 and 4, this device being suitable for spraying a fuel as liquid (2), wherein said first nozzle body (3,103) has a relative permittivity ϵ_r less than or equal to 10, and in that said second nozzle body (8,108) has a relative permittivity ϵ_r equal to or greater than 2, so as to further maximize the intensity of the electrostatic field in the vicinity of said first electrode (7,107), and preferably wherein said device is capable of generating said local electrostatic field with an intensity greater than 1 MV/cm at said or each protruding end (7a,107a) when an alternating voltage is applied between said first and second electrodes (7,107 and 12,112).
6. The device (1) according to any of preceding claims, this device being suitable for atomizing a fuel as liquid (2) in the form of a sheet, wherein it also comprises means for feeding at least one gaseous flow (5,10), such as a jet of air, downstream of said spraying orifice (15) so as to optimize the atomization of

the fuel sprayed by the device.

7. The device (101) according to any of preceding claims, wherein said channel (114) has a substantially rectangular transversal section so as to spray the liquid in the form of a flat sheet, said first electrode (107) having overall the form of a flat plate and said second (112) electrode having a bar-shaped geometry, each electrode being independently continuous or discontinuous seen in transversal section. 5
8. The device (1) according to any of claims 1 to 6, wherein said channel (14) has an overall annular transversal section so as to spray the liquid (2) in the form of a sheet with symmetry of revolution, said first electrode (7) having a substantially divergent tapered form toward said or each protruding end (7a) and said second electrode (12) having a substantially toroidal form concentrically surrounding the first electrode, each electrode being independently continuous or discontinuous seen in transversal section. 10
9. The device (1) according to any of claims 2, 6 and 8, wherein said first nozzle body (3) is situated radially inside said second nozzle body (8) which surrounds it concentrically so that said first and second walls (6 and 11) are respectively divergent and convergent toward said channel (14), and in that said means for feeding the gaseous flows (5,10) are located radially inside this first body and radially outside this second body. 15
10. The device according to any of preceding claims, wherein it forms an electro-hydrodynamic pump for a heat exchanger with no rotating parts, for example intended to equip an air or space vehicle with heat engine. 20
11. An injector of a fuel (2) that can be electrically insulating for a combustion chamber of a heat engine of a land, airborne or space vehicle, in particular for an airplane jet engine, wherein it comprises a device suitable for atomizing this fuel in the form of a sheet according to any of claims 1 to 9 and, preferably according claim 9. 25
12. The use of a device according to any of claims 1 to 9 for atomizing a liquid chosen from the group consisting of heat-transfer liquids, cutting oils for machine tools and liquids for cleaning soiled surfaces. 30
13. A method for spraying, at least by electrostatic forces and in particular in sheet form, a liquid (2) that can be electrically insulating, such as a fuel, by atomizing it or by controlling the beat of the oscillations thereof, wherein it consists in using a device according to any of claims 1 to 10 by applying, between said first and second electrodes (7,107 and 12,112), an alter-

nating voltage signal, the amplitude of which is preferably several kV, to obtain a local electrostatic field at said or each protruding end (7a,107a) with an intensity greater than 1 MV/cm, electrical charges thus being directly injected into the liquid leaving the device at this end.

14. The method according to claim 13, wherein, to atomize this liquid, a frequency of this signal at least equal to 1 kHz is used, this signal preferably being square and preferably having a frequency equal to or greater than 2 kHz, or wherein to control the beat of the oscillations of this liquid without atomizing it, a frequency of this signal of between 5 Hz and 100 Hz is used, this signal preferably being of sinusoidal or triangular type and with a frequency substantially equal to 50 Hz. 35
15. The method according to claim 13, wherein, liquid (2) is set in motion in said channel (4,14) with a speed of between 0.5 m/s and 2 m/s, and in that a sheet that is substantially flat or with symmetry of revolution for the sprayed liquid with a thickness of between 200 μm and 500 μm is obtained, preferably by also feeding at least one gaseous flow (5,10), such as a jet of air, downstream of said spraying orifice (15) and at a speed for example of between 30 m/s and 200 m/s, to optimize the atomization of the fuel sprayed by the device (1,101). 40

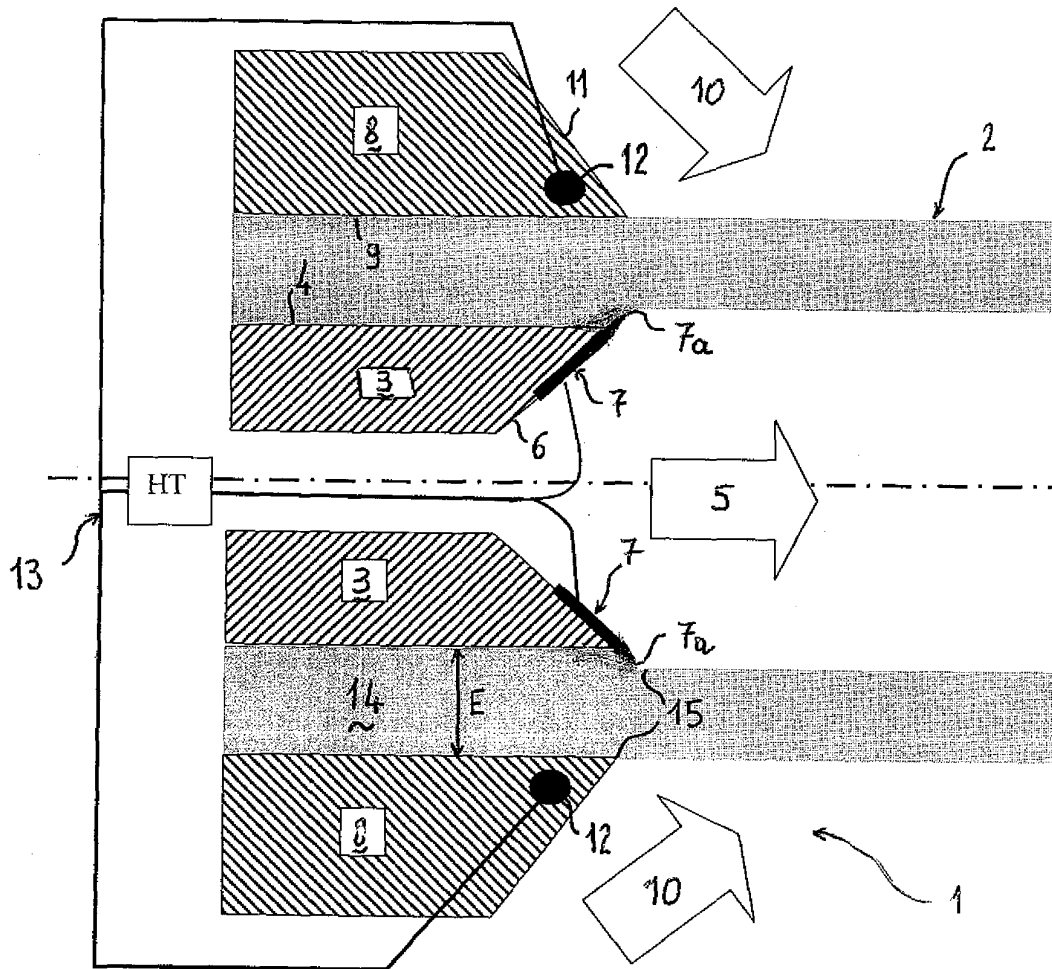


Fig. 1

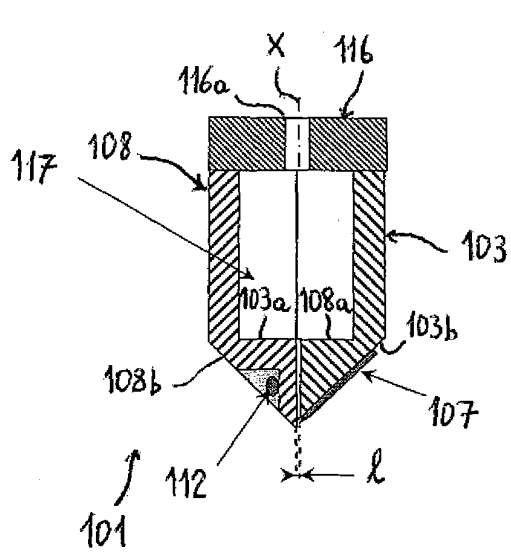


Fig. 2

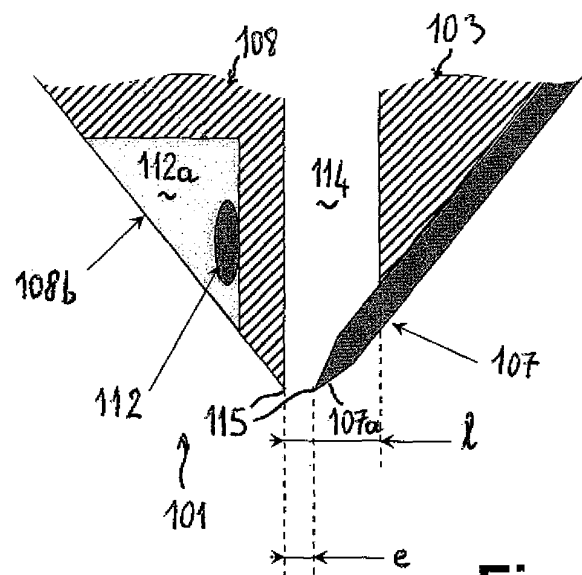


Fig. 3

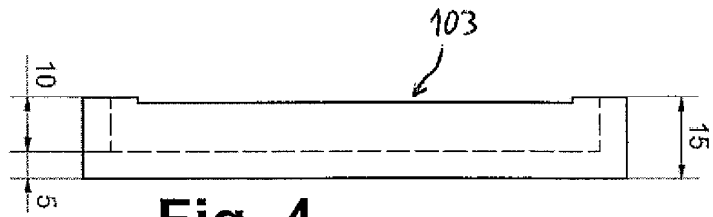


Fig. 4

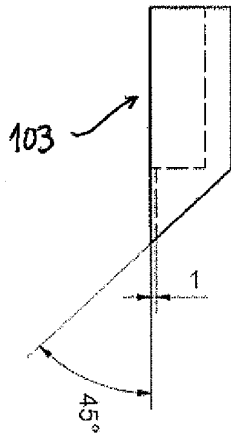


Fig. 5

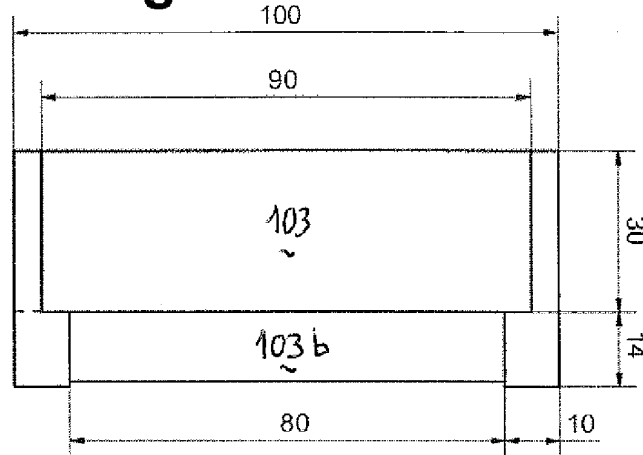


Fig. 6

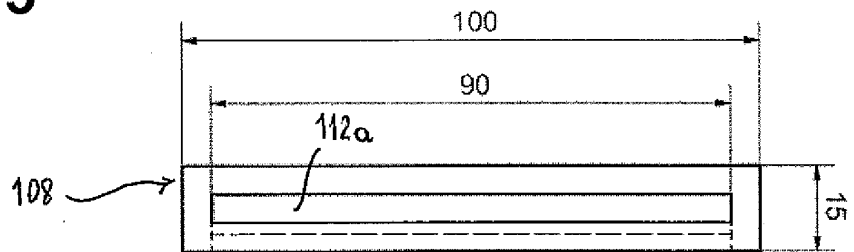


Fig. 7

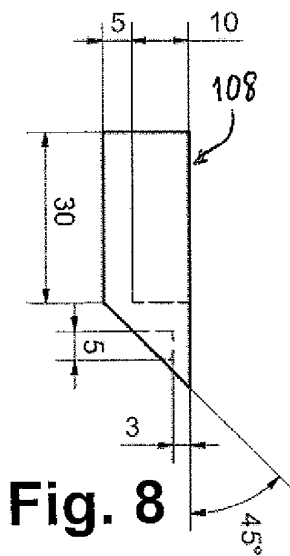


Fig. 8

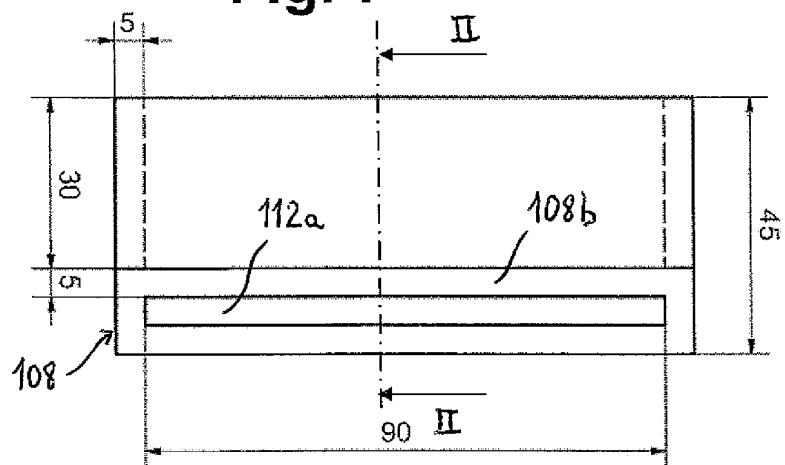


Fig. 9

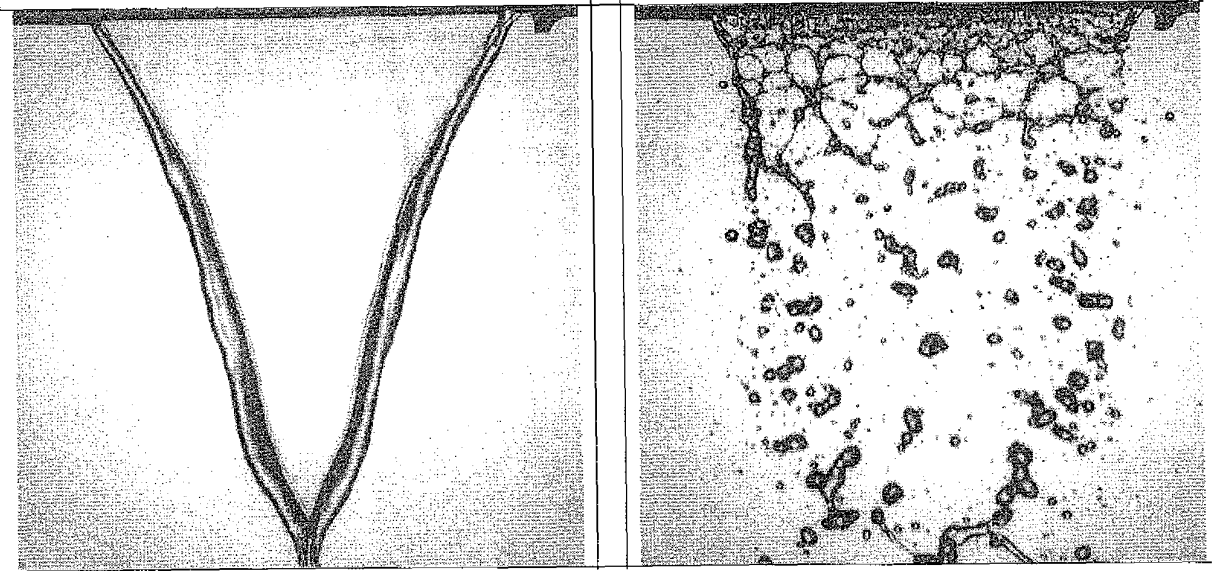


Fig. 10

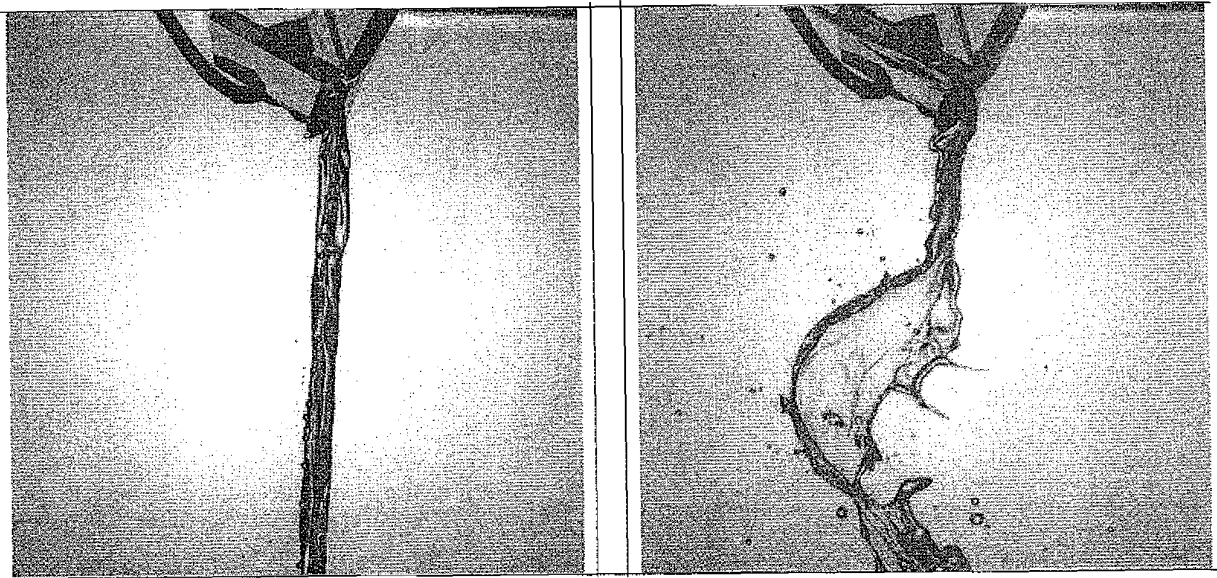


Fig. 11

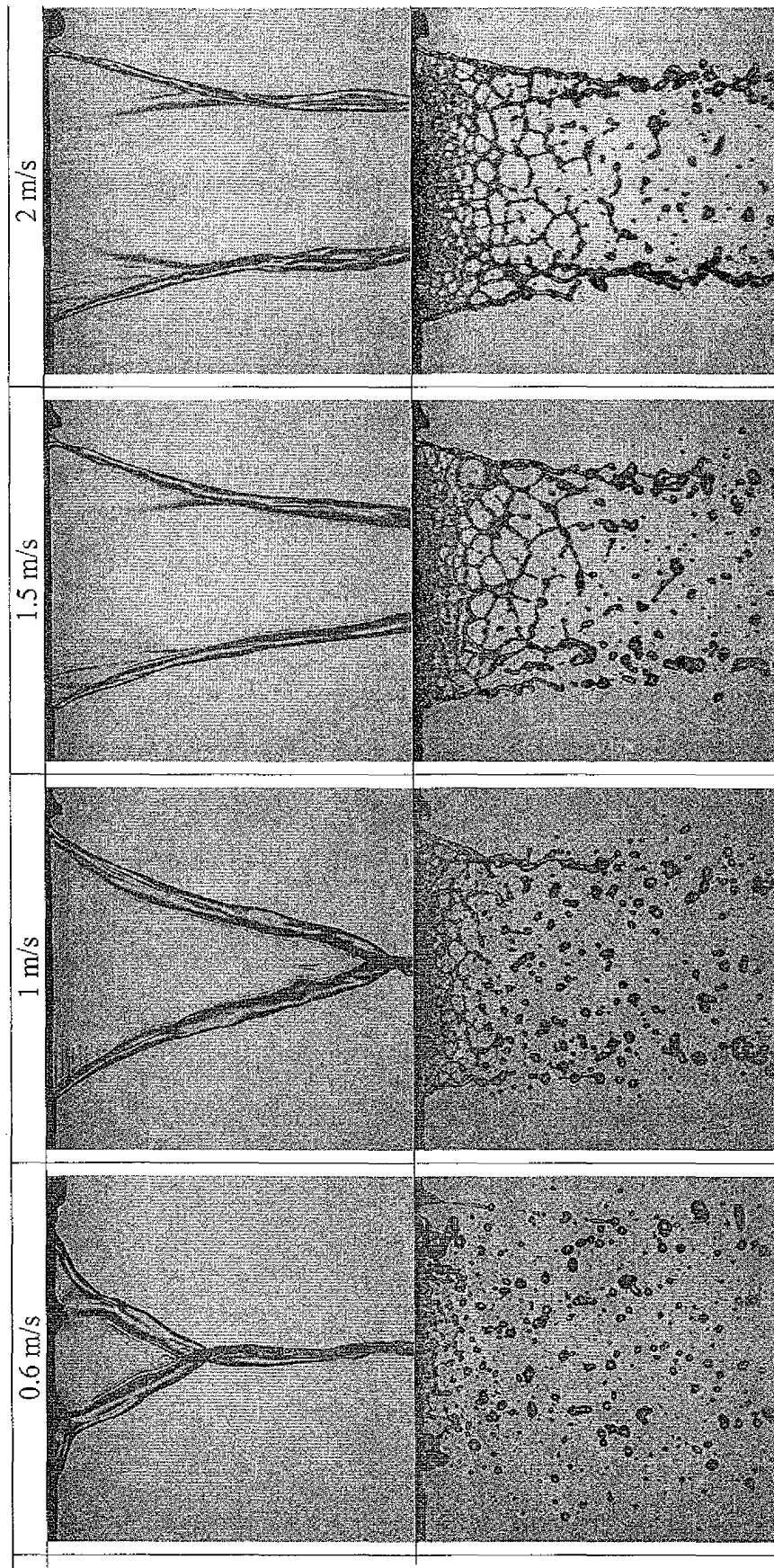


Fig. 12

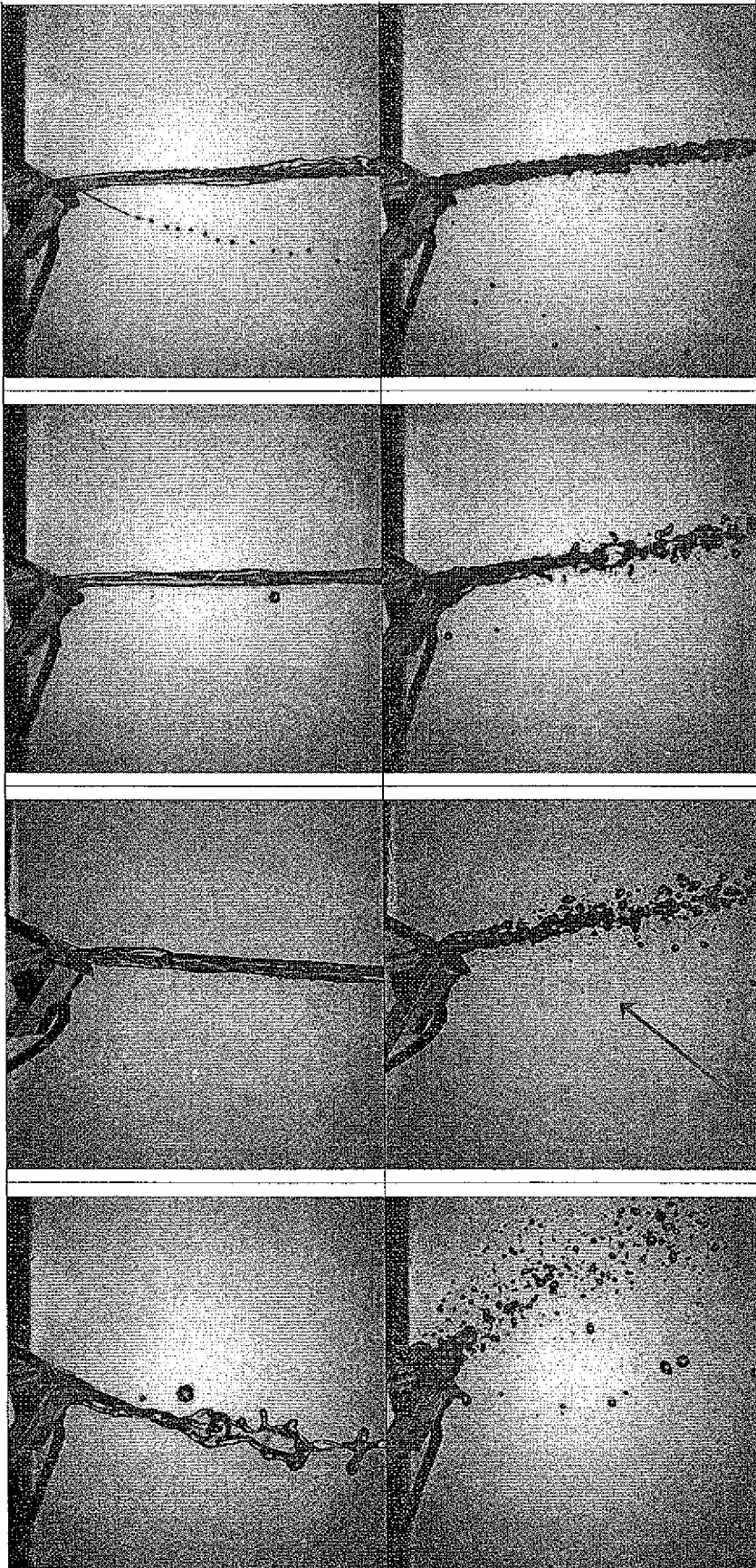
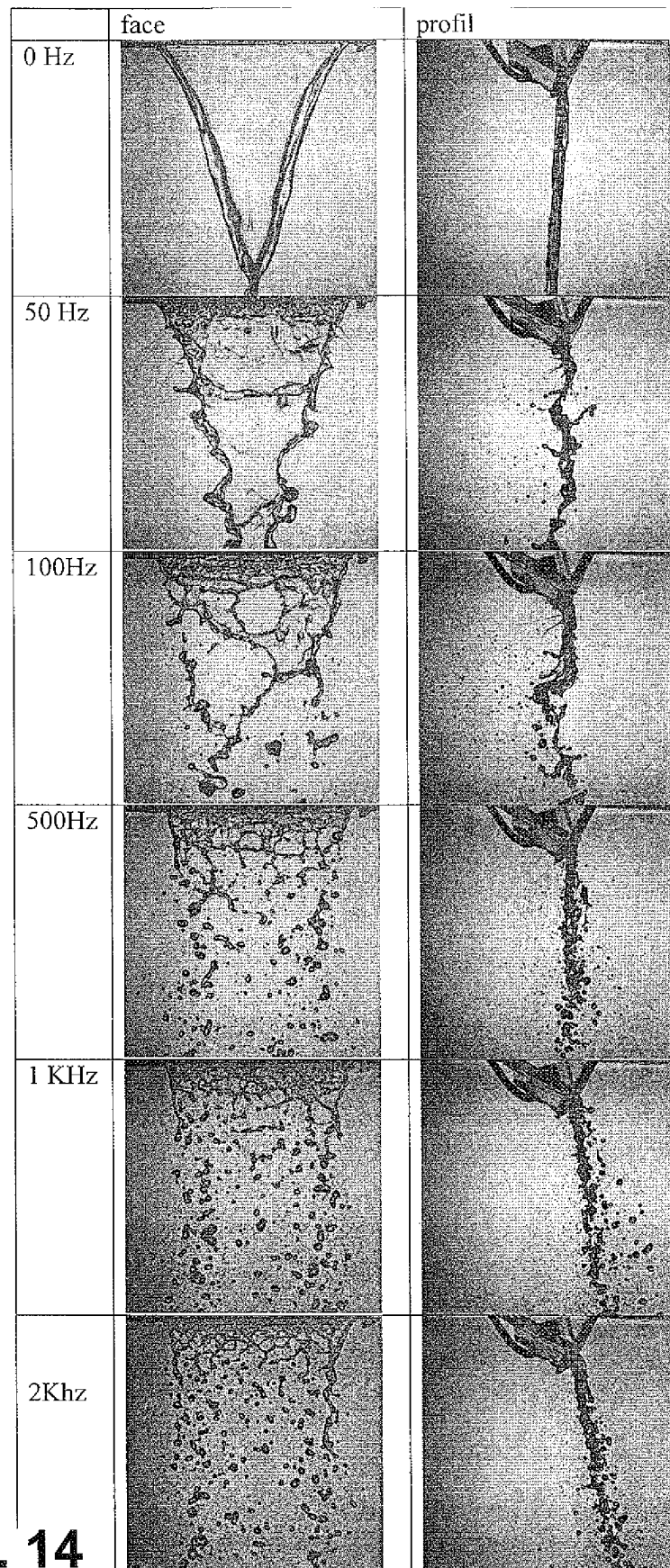


Fig. 13

**Fig. 14**

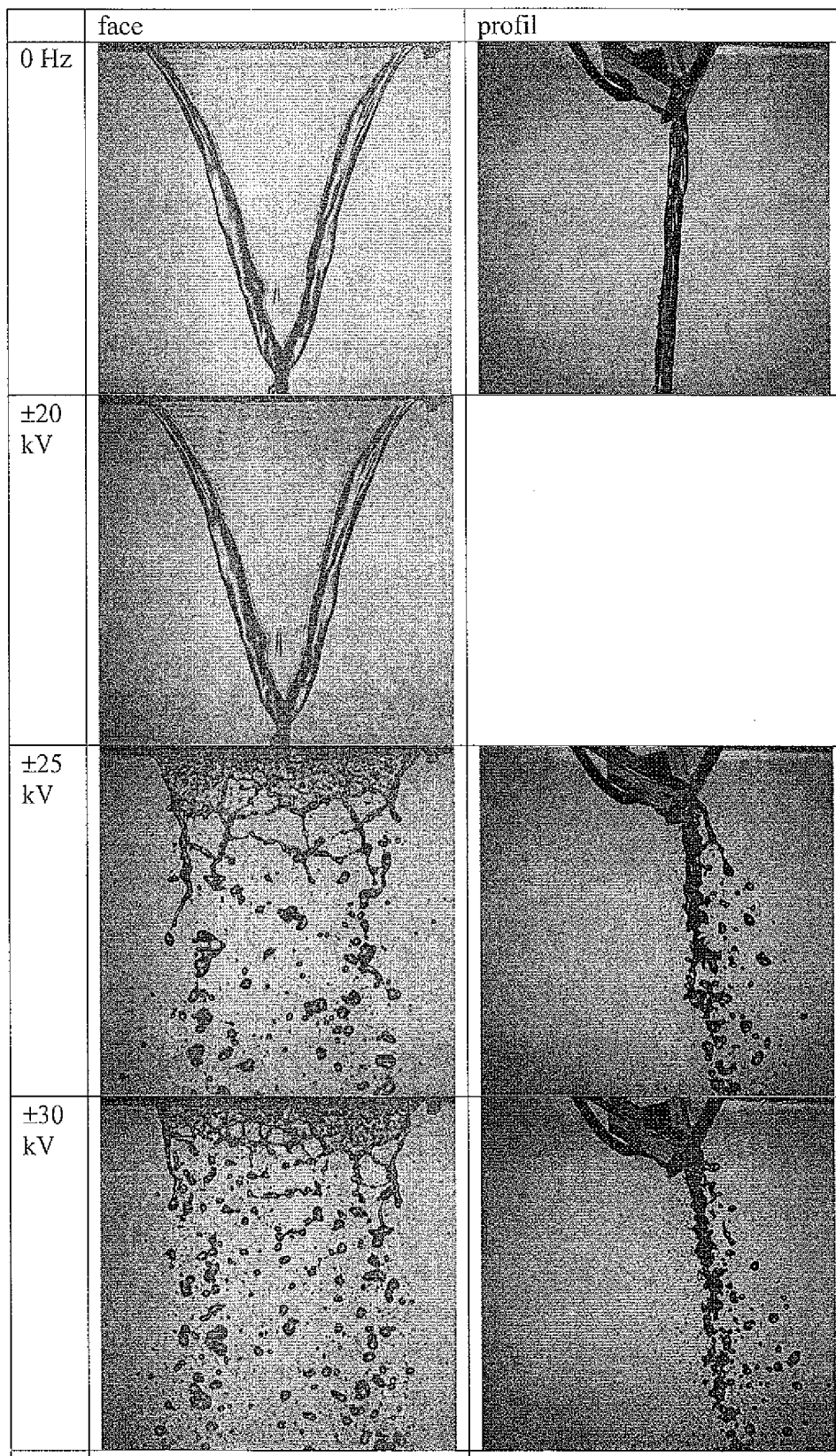


Fig. 15

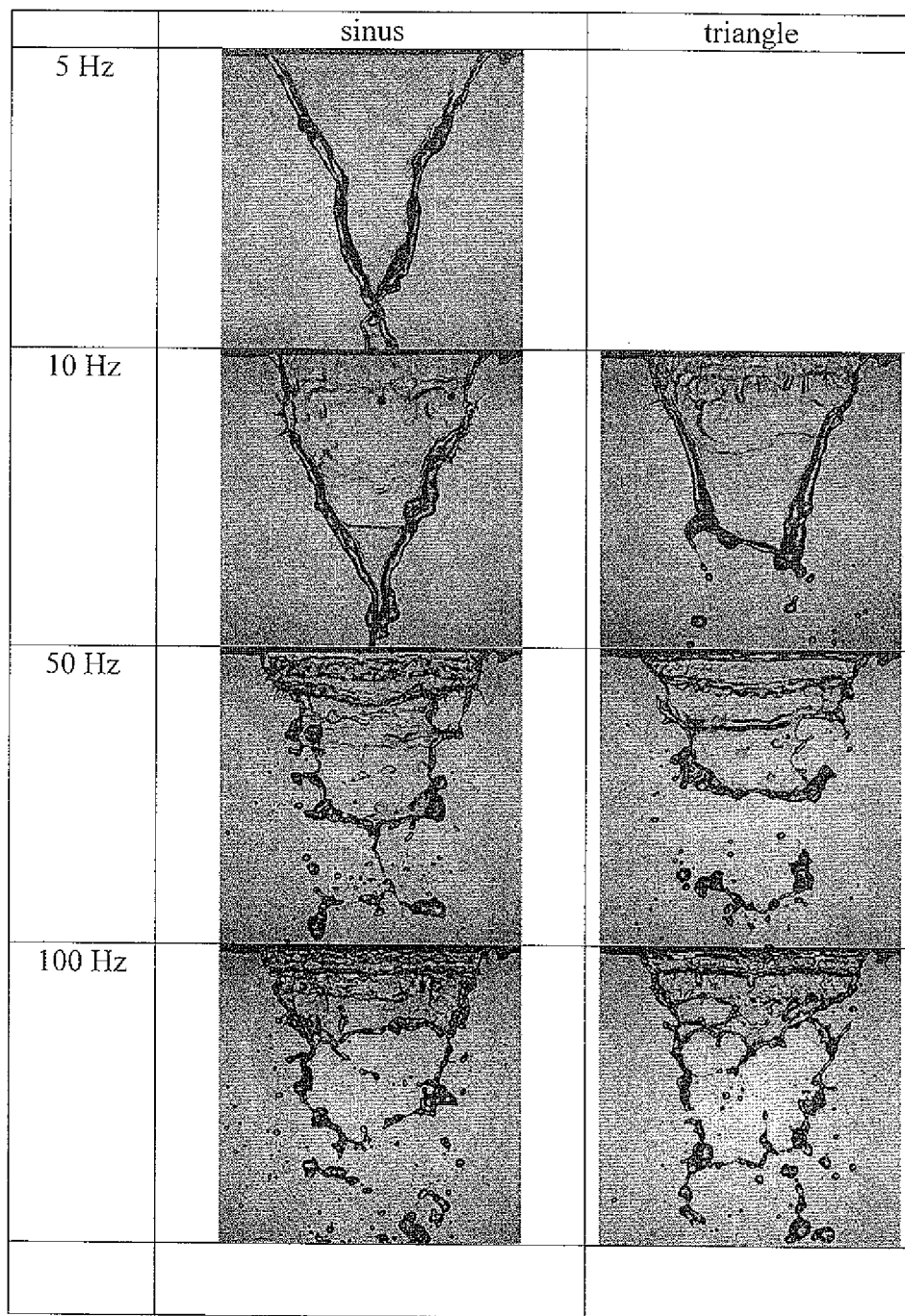


Fig. 16

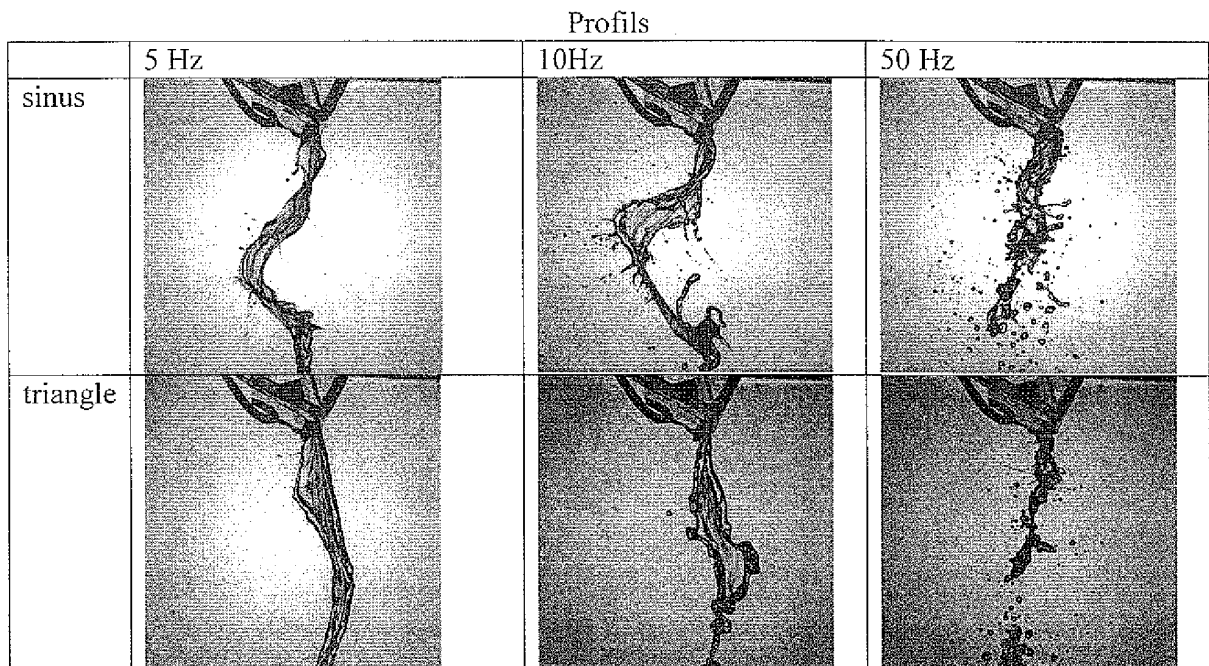


Fig. 17

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Documents brevets cités dans la description

- WO 2008052830 A1 [0007]
- EP 1139021 B1 [0008]
- GB 2096022 A [0009]

Littérature non-brevet citée dans la description

- **PRIOL L. ; BAUDEL P. ; LOUSTE C. ; ROMAT H.**
Laser granulometry measurements on electrified jets for different lengths of injector. *Journal of electrostatics*, 2005, vol. 63, 899-904 [0006]