

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

①1 N° de publication : **3 130 065**
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

②1 N° d'enregistrement national : **21 12923**

⑤1 Int Cl⁸ : **G 10 H 3/00 (2024.01), G 10 K 11/18, G 10 D 7/00**

⑫

BREVET D'INVENTION

B1

⑤4 Ensemble de transmission d'ondes acoustiques aériennes combinable avec un instrument de musique à vent à trous latéraux.

②2 Date de dépôt : 03.12.21.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public
de la demande : 09.06.23 Bulletin 23/23.

④5 Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 12.07.24 Bulletin 24/28.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑥0 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

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

⑦2 Inventeur(s) : *BOLZMACHER Christian, GERAY
Alexis, LAMY Sylvie, OREFICE Pierre-Henri et SAINT-
ALME Kevin.*

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

⑦4 Mandataire(s) : *ATOUT PI LAPLACE.*

FR 3 130 065 - B1



Description

Titre de l'invention : Ensemble de transmission d'ondes acoustiques aériennes combinable avec un instrument de musique à vent à trous latéraux

- [0001] L'invention se situe dans le domaine technique des instruments de musique à vent hybrides, c'est-à-dire des instruments à vents qui peuvent alternativement fonctionner selon un premier mode acoustique et selon un second mode numérique. L'invention s'applique à tous types d'instruments de musique à vent à trous latéraux parmi lesquels une clarinette, un saxophone, une flûte, un hautbois, un cor anglais ou un basson, cette liste n'étant pas exhaustive. Elle concerne un ensemble de transmission d'ondes acoustiques aériennes combinable avec un instrument de musique tel que mentionné ci-dessus.
- [0002] Le mode de fonctionnement acoustique est le mode de fonctionnement natif d'un instrument de musique à vent. Dans ce mode, le son est produit par des vibrations de la colonne d'air de l'instrument qui sont déclenchées par le souffle du joueur.
- [0003] Un mode de fonctionnement numérique consiste à équiper un instrument de musique à vent de composants électroniques qui permettent la production de sons numériques obtenus par une technique de synthèse sonore appliquée à un ou plusieurs signaux électriques produits par les composants.
- [0004] Le mode de fonctionnement numérique d'un instrument de musique à vent permet notamment de rendre l'instrument silencieux en restituant le son numérisé au joueur par le biais d'un casque. En effet, la pratique musicale acoustique peut être source de nuisance sonore et peut contraindre un musicien à jouer uniquement pendant certaines plages horaires voire à le décourager de la pratique de cet instrument.
- [0005] Un autre avantage d'un fonctionnement numérique est l'élargissement de la palette de timbres grâce à une technique de synthèse sonore.
- [0006] Un problème à résoudre dans ce contexte est de concevoir un dispositif combinable avec l'instrument à vent acoustique qui puisse être facilement réversible pour que l'utilisateur puisse passer d'un mode de fonctionnement numérique à un mode de fonctionnement acoustique.
- [0007] Un autre problème à résoudre est de concevoir un dispositif adaptable au même instrument de différents fabricants, c'est-à-dire qui soit adaptable quels que soient les écarts géométriques d'un fabricant à l'autre sans pour autant modifier les dimensions de l'instrument.
- [0008] Une première approche pour rendre un instrument silencieux consiste à atténuer le son produit par l'instrument. On connaît pour cela des méthodes basées sur l'usage de

matériaux absorbants du type mousse ou des méthodes basées sur une atténuation par enveloppement. Ces méthodes sont peu intrusives et peu onéreuses mais ne sont pas suffisamment efficaces sur l'ensemble du spectre acoustique considéré. De façon générale, le son produit par les instruments à vent à trous latéraux est plus difficile à atténuer que le son produit par d'autres instruments, par exemple les instruments de la famille des cuivres.

- [0009] Une autre approche pour limiter les nuisances sonores consiste à utiliser un dispositif se substituant au fonctionnement acoustique de l'instrument, autrement dit un instrument totalement numérique. Ce type d'instrument permet simultanément la mesure des paramètres du souffle (intensité et pincement des lèvres) ainsi que de la position des doigts sur l'instrument. Les touches peuvent être statiques ou mécaniques. Couplé à un synthétiseur, ce type d'instrument permet de disposer d'une large palette de timbres et s'avère facile à utiliser. Sa conception technique minimaliste en fait un produit relativement abordable en termes de coûts. En revanche, la prise en main d'un tel dispositif est différente d'une clarinette ou d'un saxophone en raison de la configuration et du comportement mécanique des touches et du bec. Cet instrument requiert donc un apprentissage complémentaire et non mutualisé ce qui est insatisfaisant lorsque le musicien souhaite monter en compétence avec son instrument acoustique.
- [0010] Une solution de l'art antérieur consiste à insérer un dispositif qui s'intercale entre deux parties hautes d'un instrument, par exemple entre le bec et le bocal d'un saxophone, pour permettre la détection des ondes. Cette solution n'est pas satisfaisante car elle allonge la taille de l'instrument de musique et modifie donc la posture de son utilisateur (notamment un recul de la tête par rapport à la position des bras). Par ailleurs, les temps de réponse annoncés pour ce type de solution sont de plus de 100 ms. Un temps de réponse de cet ordre de grandeur n'est pas satisfaisant pour la pratique d'un instrument à vent, il doit être beaucoup plus court, et idéalement inférieur à 10 ms.
- [0011] Une autre solution de l'art antérieur mesure l'onde stationnaire qui est créée dans la colonne d'air suite à la mise en vibration de cette dernière par un actionneur placé dans la partie haute de l'instrument. Le temps nécessaire pour exciter cette onde stationnaire est de l'ordre de plusieurs dizaines de millisecondes. Cela n'est pas satisfaisant pour la pratique d'un instrument à vent. Idéalement le temps de réponse se situe autour de 10 millisecondes.
- [0012] Une autre solution utilise les ondes mécaniques élastiques ultrasonores se propageant dans le corps de l'instrument pour détecter la position des touches. Dans cette configuration un émetteur est placé dans la partie haute en contact avec le corps de l'instrument et un récepteur dans la partie basse. Cette configuration permet une détection rapide et fluide des notes. Par contre cette solution est sensible aux contacts

physiques exercés à l'instrument et se traduit par une robustesse de détection faible.

[0013] Enfin, une dernière solution connue utilise des ondes électromagnétiques de plusieurs Mégahertz en utilisant la structure tubulaire en tant que guide d'onde (émetteur en haut et récepteur en bas). Cette solution est également sensible aux contacts, à la position de l'émetteur et du récepteur ainsi qu'aux perturbations externes (ondes électromagnétiques). Le guide d'onde nécessite un matériau avec une résistivité faible pour garder une bonne intégrité du signal. Les matériaux non-conducteurs limitent la distance de propagation de l'onde. Cette solution est donc insatisfaisante.

[0014] L'invention vise à pallier tout ou partie des problèmes cités plus haut en proposant un ensemble adaptable, amovible et universel pour différents instruments apte à générer et recevoir des ondes acoustiques aériennes dans la colonne d'air de l'instrument, et présentant un temps de réponse de quelques millisecondes permettant une détection rapide et fluide des notes, compatible de la pratique d'un instrument à vent. De plus, l'ensemble objet de l'invention est insensible aux contacts physiques ou perturbations externes exercés sur l'instrument (contact sur l'instrument, variations de la température ambiante). Il en résulte un ensemble adaptable, amovible et universel présentant une forte robustesse de détection des notes quelles que soient les perturbations externes auxquelles l'instrument est soumis.

[0015] A cet effet, l'invention a pour objet un ensemble de transmission d'ondes acoustiques aériennes configuré pour être combiné avec un instrument de musique à vent à trous latéraux comprenant un corps tubulaire définissant une colonne d'air, le corps tubulaire s'étendant localement sensiblement selon un premier axe, ledit ensemble de transmission étant destiné à être disposé de façon amovible à l'intérieur du corps tubulaire de l'instrument, l'ensemble de transmission étant caractérisé en ce qu'il comprend :

- un dispositif d'émission d'ondes acoustiques aériennes dans la colonne d'air comprenant :
 - une première structure de fixation au corps tubulaire de l'instrument ;
 - un actionneur apte à transformer un signal électrique en ondes acoustiques aériennes ;
 - un élément intermédiaire de fixation de l'actionneur à la première structure de fixation configuré pour désolidariser l'actionneur du corps tubulaire ;
- un dispositif de réception d'ondes acoustiques aériennes comprenant :
 - une deuxième structure de fixation au corps tubulaire de l'instrument ;
 - un microphone relié à la deuxième structure de fixation, le microphone étant apte à recevoir, après leur propagation dans la

colonne d'air, les ondes acoustiques aériennes émises par l'actionneur, le microphone étant positionné préférentiellement de manière décentrée par rapport au premier axe ;

- un dispositif de transformation relié à la deuxième structure de fixation et apte à transformer les ondes acoustiques aériennes reçues par le microphone en un signal électrique caractéristique d'une configuration de bouchage des trous latéraux de l'instrument.
- le corps tubulaire comprenant une butée, la première structure de fixation comprend une glissière, la glissière étant destinée à guider le dispositif d'émission le long du corps tubulaire jusqu'à la butée.
- [0016] Avantageusement, l'élément intermédiaire de fixation de l'actionneur à la première structure de fixation est une membrane isolante de sorte à empêcher un transfert d'ondes mécaniques acoustiques depuis l'actionneur vers le corps tubulaire, l'élément intermédiaire étant préférentiellement en mousse, caoutchouc, ou plastique.
- [0017] Avantageusement, le dispositif de réception comprend un dispositif de mise en position de la deuxième structure de fixation par rapport au corps tubulaire.
- [0018] Avantageusement, le dispositif de mise en position de la deuxième structure de fixation comprend au moins trois contacts ponctuels entre la deuxième structure de fixation et le corps tubulaire configurés pour bloquer le dispositif de réception en rotation autour du premier axe.
- [0019] Avantageusement, l'actionneur est un actionneur piézo-électrique, une pastille piézo-électrique, un haut-parleur, ou un excitateur électrodynamique.
- [0020] Avantageusement, le microphone est un microphone large-bande.
- [0021] Avantageusement, l'ensemble de transmission selon l'invention comprend en outre un dispositif de détection d'une position d'une clé de l'instrument relié au dispositif de transformation, préférentiellement au moins deux magnétomètres et un émetteur de champ magnétique.
- [0022] Avantageusement, le dispositif de réception d'ondes acoustiques aériennes comprend en outre un haut-parleur relié au dispositif de transformation, ledit haut-parleur étant configuré pour restituer le signal électrique caractéristique d'une configuration de bouchage des trous latéraux de l'instrument en une note audible.
- [0023] Avantageusement, le dispositif de réception d'ondes acoustiques aériennes comprend en outre un capteur de température relié au dispositif de transformation
- [0024] L'invention concerne aussi un instrument de musique à vent à trous latéraux destiné à produire sélectivement des sons acoustiques et des sons électriques, comprenant un tel ensemble de transmission.
- [0025] Dans un mode de réalisation de l'invention, l'instrument est un saxophone ou une clarinette ou une flûte ou un hautbois ou un basson.

- [0026] L'invention sera mieux comprise et d'autres avantages apparaîtront à la lecture de la description détaillée d'un mode de réalisation donné à titre d'exemple, description illustrée par le dessin joint dans lequel :
- [0027] [Fig.1] la [Fig.1] illustre schématiquement un exemple d'application possible du principe de l'invention ;
- [0028] [Fig.2] la [Fig.2] représente schématiquement un exemple de positionnement possible d'un ensemble de transmission selon l'invention dans un instrument ;
- [0029] [Fig.3] la [Fig.3] représente schématiquement un dispositif d'émission de l'ensemble de transmission d'ondes acoustiques aériennes selon l'invention positionné au niveau du bec de l'instrument ;
- [0030] [Fig.4] la [Fig.4] représente schématiquement un dispositif d'émission selon l'invention ;
- [0031] [Fig.5] la [Fig.5] représente schématiquement la mise en butée, dans le corps tubulaire, de la première structure de fixation d'un dispositif d'émission selon l'invention ;
- [0032] [Fig.6] la [Fig.6] représente schématiquement des modes de réalisation de la fixation de l'actionneur sur la première structure de fixation d'un dispositif d'émission selon l'invention ;
- [0033] [Fig.7] la [Fig.7] représente schématiquement un dispositif de réception de l'ensemble de transmission d'ondes acoustiques aériennes selon l'invention positionné au niveau du pavillon de l'instrument ;
- [0034] [Fig.8] la [Fig.8] représente schématiquement une signature acoustique pour une note jouée avec un saxophone alto.
- [0035] L'invention est destinée à être mise en œuvre pour une application d'un procédé permettant de détecter et localiser une perturbation d'un milieu par le biais d'un système composé d'au moins un émetteur d'ondes acoustiques et d'au moins un récepteur d'ondes acoustiques couplés à un dispositif électronique qui reçoit et analyse le signal produit par le récepteur d'ondes acoustiques pour en déduire la localisation de la perturbation. Un tel procédé est connu de l'art antérieur, par exemple la publication internationale WO2016/173879.
- [0036] Dans la suite de la description, on parlera d'ondes acoustiques aériennes pour désigner plus largement les ondes compatibles de l'application envisagée dont les ondes ultrasonores font partie. La plage de fréquence des ondes se situe préférentiellement entre 20 et 40 kHz, ou entre 20 et 60 kHz ou entre 20 et 80 kHz ou plus.
- [0037] En outre, l'invention est décrite dans l'exemple du saxophone mais l'invention s'applique à tous types d'instruments de musique à vent à trous latéraux parmi lesquels une clarinette, un saxophone, une flûte, un hautbois, un cor anglais ou un basson, cette liste n'étant pas exhaustive.

- [0038] Plus généralement, l'invention est décrite dans le domaine des instruments de musique à vent. Toutefois, le principe de l'invention peut s'appliquer à tout dispositif adaptable, amovible à positionner dans un corps creux, comme par exemple dans une canalisation à géométrie variable ou non, notamment pour des applications de contrôles non destructifs avec détection d'activité acoustique.
- [0039] La présente invention concerne un ensemble de transmission d'ondes acoustiques aériennes configuré pour être combiné avec un instrument de musique à vent à trous latéraux étant destiné à être disposé de façon amovible à l'intérieur du corps tubulaire de l'instrument. L'intérieur du corps tubulaire de l'instrument forme une colonne d'air. L'invention permet d'identifier les notes jouées avec l'instrument à partir de la signature acoustique générée dans la colonne d'air via l'ouverture ou la fermeture des clapets de l'instrument. Le principe de l'invention repose sur l'excitation de la colonne d'air via un actionneur, par exemple piézoélectrique, dans le spectre ultrasonore au niveau du bocal et la signature acoustique est mesurée au niveau du pavillon via un microphone, par exemple large-bande. Cette disposition permet de détecter la note jouée en seulement quelques millisecondes en étant robuste contre des perturbations environnementales tels qu'un contact physique sur l'instrument ou du bruit ambiant. La reconnaissance des notes est effectuée via un algorithme dédié (par corrélation ou classification). L'ensemble de transmission comprend un dispositif d'émission d'ondes et un dispositif de réception d'ondes, comme expliqué au moyen des figures décrites ci-après.
- [0040] La [Fig.1] illustre schématiquement un exemple d'application possible du principe de l'invention.
- [0041] Sur la partie gauche de la [Fig.1] est représentée une clarinette 100 dans une configuration pour un jeu acoustique, c'est-à-dire une clarinette originale. Sur la partie droite de la [Fig.1], on a identifié deux parties amovibles de l'instrument : le bec 105 et le pavillon 106. Ces deux parties peuvent être enlevées pour configurer l'instrument en mode numérique. Pour cela on enlève le bec d'origine 105 et on peut placer dans le bocal ou barillet de l'instrument (ou directement sur l'instrument à la place du bocal ou barillet amovible) un dispositif d'émission selon l'invention. De même, dans le pavillon d'origine 106, on peut positionner un dispositif de réception selon l'invention. L'ensemble de transmission comporte (préférentiellement au niveau du dispositif de réception), relié à l'extérieur de l'instrument, un dispositif de transformation, correspondant par exemple à un dispositif informatique ou électronique apte à recevoir et analyser le signal produit par un récepteur d'ondes acoustiques pour en déduire la localisation de la perturbation, relié aux émetteurs et récepteurs pour mettre en œuvre un procédé de détection et d'identification de l'état de bouchage des trous de l'instrument. Le dispositif de transformation est conçu pour mettre en œuvre les actions détaillées ci-

après. Il comprend une unité de traitement pour l'exécution d'instructions d'un programme d'ordinateur pour mettre en œuvre ces actions. Mais il pourrait être remplacé par un dispositif électronique composé uniquement de circuits électroniques (sans programme d'ordinateur) pour la réalisation des mêmes actions. De façon générale, un procédé de détection et d'identification de l'état de bouchage des trous latéraux d'un instrument de musique à vent comprend une première phase d'apprentissage dans laquelle on active un état de bouchage des trous de l'instrument parmi l'ensemble des états possibles, on fait propager dans l'instrument des ondes acoustiques aériennes à partir du dispositif d'émission situé sur l'instrument (préférentiellement au niveau du bec ou du bocal/barillet), on capte les ondes acoustiques aériennes par le dispositif de réception de l'ensemble de transmission de l'invention et on sauvegarde certaines caractéristiques du signal capté dans une bibliothèque, cette première phase étant itérée sur l'ensemble des états de bouchage des trous de l'instrument correspondant à sa tablature chromatique, et une seconde phase de détection dans laquelle, le joueur active un état de bouchage des trous de l'instrument pour produire une note correspondante, on capte à nouveau les ondes acoustiques aériennes transmises par le dispositif d'émission et au dispositif de réception et on compare certaines caractéristiques du signal capté aux caractéristiques correspondantes dans la bibliothèque pour en déduire quel est l'état de bouchage des trous qui est activé puis en déduire la note correspondante. L'Homme du métier pourra se référer à différents documents de l'art antérieur pour implémenter une ou des variantes de la méthode de traitement du signal produit par un ou plusieurs récepteurs d'ondes mécaniques élastiques.

- [0042] Le bec peut aussi être un bec modifié qui peut être relié au dispositif informatique intégré dans le pavillon et comprendre un dispositif de détection du souffle du joueur. De cette façon, il est possible de synchroniser la restitution numérique des notes avec le souffle du joueur.
- [0043] Le dispositif informatique fournit à un calculateur les notes associées aux états de bouchage des trous qui ont été détectés. Le calculateur exécute une méthode de synthèse sonore pour restituer numériquement les notes à un utilisateur au moyen d'un casque 202. Le calculateur peut être embarqué dans un ordinateur 200 ou un téléphone intelligent 201 ou tout autre dispositif électronique équivalent.
- [0044] Des détails portant sur la détection et l'identification de la configuration de bouchage des trous latéraux de l'instrument sont disponibles dans l'art antérieur, par exemple la publication internationale WO2016/173879. La présente invention porte sur le dispositif émetteur et récepteur utilisable dans le cadre d'une telle détection.
- [0045] La [Fig.2] représente schématiquement un exemple de positionnement possible d'un ensemble de transmission 60 selon l'invention. L'ensemble de transmission 60 d'ondes

acoustiques aériennes est configuré pour être combiné avec un instrument de musique 100 à vent à trous latéraux comprenant un corps tubulaire 101 définissant une colonne d'air 103. Le corps tubulaire 101 s'étend localement sensiblement selon un premier axe X, et ledit ensemble de transmission est destiné à être disposé de façon amovible à l'intérieur du corps tubulaire 101 de l'instrument 100. L'ensemble de transmission 60 comprend un dispositif d'émission E d'ondes et un dispositif de réception R d'ondes. Le dispositif d'émission E dit émetteur est positionné préférentiellement dans le bocal de l'instrument 100 et le dispositif de réception R dit récepteur est positionné préférentiellement dans le pavillon de l'instrument 100. L'invention repose donc sur une transmission d'un signal acoustique via la colonne d'air, une transmission des données entre récepteur et calculateur (dispositif de réception R), et une transmission de données entre le calculateur (dispositif de réception R) et l'émetteur (dispositif d'émission E).

[0046] Comme cela sera détaillé ci-après, le positionnement de l'ensemble de transmission dans le corps de l'instrument permet de conserver la géométrie initiale de l'instrument. De plus, un tel ensemble de transmission ne génère aucune gêne dans la manipulation de l'instrument puisqu'il est positionné dans le corps de l'instrument.

[0047] Le dispositif d'émission E dit émetteur et le dispositif de réception R dit récepteur avec des dispositifs de communication entre eux, communication qui peut être filaire, mais préférentiellement sans fil, constituent un ensemble de transmission 60.

[0048] La [Fig.3] représente schématiquement un dispositif d'émission E de l'ensemble de transmission 60 d'ondes acoustiques aériennes selon l'invention positionné au niveau du bec de l'instrument. Le dispositif d'émission E d'ondes acoustiques aériennes dans la colonne d'air 103 comprend :

- une première structure de fixation 10 au corps tubulaire de l'instrument ;
- un actionneur 11 apte à transformer un signal électrique en ondes acoustiques aériennes ;
- un élément intermédiaire de fixation 12 de l'actionneur 11 à la première structure de fixation 10 configuré pour désolidariser l'actionneur 11 du corps tubulaire.

[0049] L'actionneur 11 est tout type d'actionneur capable de générer des ondes acoustiques aériennes. A titre d'exemple, l'actionneur peut être un actionneur piézo-électrique, une pastille piézo-électrique, un haut-parleur, ou un excitateur électrodynamique.

[0050] L'élément intermédiaire de fixation 12 de l'actionneur 11 à la première structure de fixation 10 est une membrane isolante de sorte à empêcher un transfert d'ondes mécaniques acoustiques depuis l'actionneur 11 vers le corps tubulaire 101, l'élément intermédiaire 12 étant préférentiellement en mousse, caoutchouc, ou plastique.

[0051] Un joueur va souffler dans le connecteur classique du bec 8 via un bec instrumenté.

On peut noter que le joueur peut également être en mode continu sans souffler dans l'instrument. L'ensemble 9 de capteurs et éléments électroniques pour la détection du souffle retranscrit le souffle en un signal électrique. Ce signal électrique alimente l'actionneur 11 qui génère alors des ondes acoustiques aériennes. Alternativement, afin de ne pas perdre de temps dans la reconnaissance des notes, les signaux acoustiques sont préférentiellement générés en continu, et c'est la synthèse sonore qui est activée par le souffle du joueur. Ces ondes vont se déplacer uniquement dans la colonne d'air 103. Autrement dit, aucune onde ne circule via le corps tubulaire 101. L'élément intermédiaire 12 joue le rôle d'isolant. Tout en servant de moyen d'attache de l'actionneur sur la première structure 10, il permet de désolidariser l'actionneur du corps tubulaire 101. L'actionneur 11 est donc isolé du corps tubulaire. Les mouvements de l'actionneur 11 visant à générer des ondes ne sont pas reportés vers le corps tubulaire grâce à l'action absorbante d'ondes de l'élément intermédiaire 12. L'actionneur 11 peut avoir la forme des cymbales ce qui permet d'augmenter l'amplitude du signal émis.

[0052] La [Fig.4] représente schématiquement un dispositif d'émission E selon l'invention. Sur cette figure, on voit en détail un positionnement possible des éléments du dispositif d'émission E. La première structure 10 est positionnée dans la partie haute du corps tubulaire de l'instrument. Sur cette première structure 10, l'actionneur 11 est orienté vers la colonne d'air 103. L'actionneur 11 est relié à la première structure 10 par l'élément intermédiaire 12 de fixation. L'élément intermédiaire 12 isole complètement l'actionneur de la première structure 10 et du corps tubulaire 101.

[0053] Le corps tubulaire 101 comprend une butée 102. La première structure de fixation 10 comprend une glissière 14, la glissière 14 étant destinée à guider le dispositif d'émission E le long du corps tubulaire 101 jusqu'à la butée 102. Grâce à la glissière 14, le dispositif d'émission E est bloqué en translation et en rotation dans le corps de l'instrument. Ainsi, la première structure 10 est positionnée dans le bocal de l'instrument, de manière fixe et toujours identique pour un même instrument.

[0054] La [Fig.5] représente schématiquement la mise en butée, dans le corps tubulaire 101, de la première structure 10 de fixation d'un dispositif d'émission E selon l'invention. Le corps tubulaire 101 d'un saxophone comprend une butée 102. Cette butée est présente dans tous les saxophones. La glissière 14 est destinée à guider le dispositif d'émission le long du corps tubulaire 101 jusqu'à la butée 102. Autrement dit, le dispositif d'émission est d'abord positionné dans la partie haute du corps tubulaire 101 (représenté en trait plein sur la partie gauche de la figure), puis glisse dans le corps tubulaire 101 jusqu'à ce que l'entrée de la glissière 14 rencontre la butée 102. La glissière 14 et la butée 102 coopèrent, ce qui assure le positionnement angulaire du dispositif d'émission E dans le corps tubulaire 101. La glissière 14 joue également le

rôle de guidage du dispositif d'émission E dans le corps tubulaire 101 jusqu'à sa mise en butée contre la butée 102. Le dispositif d'émission E est alors dans sa position fixe finale pour utilisation (représentée sur la partie droite de la figure en pointillés).

[0055] La [Fig.6] représente schématiquement des modes de réalisation de la fixation de l'actionneur 11 sur la première structure 10 de fixation d'un dispositif d'émission E selon l'invention. La représentation centrale montre que l'actionneur 11 peut être positionné au sein de l'élément intermédiaire 12 qui prend alors la forme d'un anneau, dans une portion creuse de la première structure. La représentation de gauche montre la même configuration et fait apparaître la mise en butée discutée précédemment pour bien positionner le dispositif d'émission par rapport à l'instrument. La représentation de droite montre la possibilité de considérer un élément intermédiaire 12 en contact avec le corps tubulaire. Cette configuration est rendue possible par le fait que l'élément intermédiaire a un rôle isolant fort et bloque la transmission d'ondes de l'actionneur 11 vers le corps tubulaire. Il est important de rappeler que l'invention repose sur la transmission d'ondes acoustiques aériennes via la colonne d'air dans le corps tubulaire de l'instrument, et aucune onde mécanique élastique ne doit être transmise via le corps tubulaire de l'instrument.

[0056] La [Fig.7] représente schématiquement un dispositif de réception R de l'ensemble de transmission 60 d'ondes acoustiques aériennes selon l'invention positionné au niveau du pavillon de l'instrument. On considère ici que le corps tubulaire 101 s'étend localement, au niveau du pavillon, sensiblement selon un premier axe X, tel que représenté sur la [Fig.7]. Le dispositif de réception R d'ondes acoustiques aériennes comprend :

- une deuxième structure de fixation 20 au corps tubulaire de l'instrument ;
- un microphone 21 relié à la deuxième structure de fixation 20, le microphone 21 étant apte à recevoir, après leur propagation dans la colonne d'air, les ondes acoustiques aériennes émises par l'actionneur 11, le microphone 21 étant positionné préférentiellement de manière décentrée par rapport au premier axe X ; (dans une variante, le microphone peut être positionné de manière centrée par rapport au premier axe X)
- un dispositif de transformation 30 relié à la deuxième structure de fixation 20 et apte à transformer les ondes acoustiques aériennes reçues par le microphone 21 en un signal électrique caractéristique d'une configuration de bouchage des trous latéraux de l'instrument.

[0057] Le microphone 21 est préférentiellement, mais non obligatoirement, un microphone large-bande.

[0058] Le dispositif de réception R comprend avantageusement un dispositif de mise en position 22 de la deuxième structure de fixation 20 par rapport au corps tubulaire 101.

Ainsi le dispositif de réception R est bloqué en translation et en rotation dans le pavillon. La deuxième structure 20 est positionnée dans le pavillon de l'instrument, de manière fixe et toujours identique pour un même instrument.

- [0059] Dans un mode de réalisation, le dispositif de mise en position 22 de la deuxième structure de fixation 20 comprend au moins trois contacts ponctuels 23 entre la deuxième structure de fixation 20 et le corps tubulaire 101 configurés pour bloquer le dispositif de réception R en rotation autour du premier axe X. Un des contacts ponctuels peut comprendre une vis qui, une fois tournée, vient se fixer sur une partie du corps tubulaire. Alternativement, un système de vis centrale peut, sur une rotation, faire déployer des lamelles depuis la deuxième structure vers le corps tubulaire pour constituer des contacts ponctuels afin de bloquer les degrés de liberté du dispositif de réception R.
- [0060] Le dispositif de réception R de l'invention comporte donc un élément rigide (deuxième structure 20) fixé au pavillon de l'instrument avec des éléments d'adaptation pour différentes tailles d'instruments comme expliqué précédemment. Le dispositif de réception R comprend un capteur de type microphone large bande apte à mesurer les ondes ultrasonores et placé préférentiellement décentré du premier axe X afin de briser la symétrie des ondes acoustiques et d'augmenter la richesse de la signature acoustique spécifique à chaque note et donc à chaque position des clapets. Le déport du microphone 21 par rapport au premier axe X permet d'éviter les interférences destructrices d'ondes. Grâce à cette configuration, une bonne détection des ondes est garantie.
- [0061] L'électronique de commande et les batteries peuvent être placées à l'intérieur d'un corps cylindrique creux associé à la deuxième structure. De manière optionnelle, une tige de référence peut être placée sur la deuxième structure 20 fixée au pavillon afin d'indiquer le bon placement angulaire du dispositif de réception R vis-à-vis de l'instrument. Cette tige touche alors l'instrument à une position choisie par l'utilisateur et sert comme guide de placement. Cette tige peut être rétractable.
- [0062] Le dispositif de transformation 30 est par exemple positionné dans le corps creux de la deuxième structure 20. Il est relié au microphone pour traiter les ondes acoustiques aériennes reçues par le microphone après leur propagation dans la colonne d'air, dans le but d'être traitées pour générer un signal électrique caractéristique d'une configuration de bouchage des trous latéraux de l'instrument. Un dispositif informatique peut être connecté à l'ensemble de transmission (émission ou réception). Le dispositif informatique est alors apte à fournir un signal de commande à l'ensemble de transmission émetteur qui émet alors des ondes et le dispositif de transmission récepteur reçoit ces ondes que son microphone transmet à son dispositif de transformation en signal de réception à partir des ondes reçues. En variante, le dispositif in-

formatique fait partie du dispositif de transformation. Ainsi, le dispositif de transformation est conçu pour détecter et reconnaître la signature acoustique de l'état de bouchage à partir du signal de réception correspondant aux ondes acoustiques reçues, c'est-à-dire aux ondes acoustiques émises par le dispositif émetteur E et qui se sont propagées dans la colonne d'air de l'instrument. Le procédé de détection à mettre en œuvre nécessite donc de bien positionner l'ensemble de transmission dans le corps tubulaire 101.

- [0063] Plus précisément, le dispositif de transformation 30 est configuré pour :
- [0064] - exécuter une première phase d'apprentissage consistant à faire varier les configurations de l'état de bouchage des trous latéraux de l'instrument parmi l'ensemble des configurations possibles et enregistrer, pour chaque configuration, au moins une caractéristique de référence du signal de réception,
- [0065] - exécuter une seconde phase de surveillance (ou d'utilisation) pendant qu'un utilisateur joue dudit instrument de musique consistant à enregistrer, pour chaque note jouée par l'utilisateur, au moins une caractéristique courante du signal de réception équivalente à ladite caractéristique de référence, et comparer la caractéristique courante à l'ensemble des caractéristiques de références enregistrées pour en déduire la configuration de bouchage des trous de l'instrument actionnée par le joueur.
- [0066] L'ensemble de transmission 60 selon l'invention repose sur la transmission d'ondes acoustiques aériennes via la colonne d'air dans le corps tubulaire tout en assurant un temps de réponse compatible de la pratique de l'instrument de musique.
- [0067] L'invention repose sur le fait d'utiliser un dispositif émetteur dans la partie haute de l'instrument et un dispositif récepteur dans la partie basse de l'instrument. A noter que l'invention est également applicable en inversant le dispositif émetteur et le dispositif récepteur, c'est-à-dire avec le dispositif émetteur dans la partie basse et le dispositif récepteur dans la partie haute de l'instrument. Un balayage fréquentiel couvrant le spectre ultrasonore entre 20kHz et 80kHz génère des ondes via un actionneur piézo-électrique ou un actionneur électrodynamique. Ces ondes se déplacent dans la colonne d'air de l'instrument. La position des clapets modifie la propagation de ces ondes et génère une signature spécifique pour chaque note jouée. Cette signature acoustique ultrasonore est mesurée en partie basse de l'instrument avec un dispositif récepteur tels qu'un microphone. Un algorithme de classification est utilisé pour reconnaître la note jouée et créer via une synthèse sonore une note équivalente artificielle. La classification est faite à l'aide d'une référence établie pendant une phase de calibration ou d'apprentissage au début de l'utilisation de l'instrument hybride.
- [0068] L'invention diffère des solutions de l'art antérieur qui passent par le corps de l'instrument, et pour lesquelles deux effets peuvent nuire à la bonne classification des notes. D'abord, un contact physique (bras, jambe, sangle de fixation, câble de casque,

...) à l'extérieur de l'instrument peut être considéré comme perturbation et donc assimilé à un clapet fermé. La note reconnue n'est donc pas exacte. Un deuxième facteur perturbant dans les solutions de l'art antérieur utilisant le corps pour la propagation des ondes est une variation de température entre la phase d'apprentissage et la phase de classification. Une température plus élevée ou plus basse décale la position des résonances de la structure et modifie donc la signature acoustique. Une classification devient alors impossible.

[0069] Dans l'invention, en utilisant la colonne d'air comme moyen de propagation d'ondes ultrasonores, l'ensemble de transmission est insensible aux bruits audibles et aux contacts physiques. L'influence de la température est a priori moindre que dans le cas des ondes mécaniques élastiques. Le couple émetteur en partie haute et le récepteur en partie basse de l'instrument permet de garder une bonne réactivité de la détection des touches/notes car le temps de propagation d'ondes est seulement de quelques millisecondes (2.5ms pour un saxophone alto). Afin de privilégier les ondes aériennes, l'actionneur est découplé du corps de l'instrument (il n'y a donc pas de couplage de l'actionneur avec le corps de l'instrument). Le capteur qui mesure les ondes aériennes est placé de préférence en dehors de l'axe central du corps tubulaire de l'instrument. Cela brise la symétrie des ondes acoustiques et rend la signature acoustique plus riche. Cela permet davantage de distinguer les différentes notes.

[0070] Avantagement (et comme cela est visible sur la [Fig.2]), dans un mode possible de réalisation, le dispositif d'émission E peut comprendre un dispositif de détection 51 d'une position d'une clé de l'instrument 100 relié au dispositif de transformation 30, préférentiellement au moins deux magnétomètres 52 et un émetteur 53 de champ magnétique, par exemple un aimant. Ce dispositif est schématiquement représenté sur la [Fig.2]. Afin de détecter la position de la clé d'octave, un émetteur 53 de champ magnétique peut être clipsé à proximité de la clé d'octave. Au moins deux magnétomètres 52, avantagement trois, sont positionnés à l'intérieur de la structure déformable 10 du dispositif d'émission E selon différents angles. En effet, à partir de ces différentes positions, il est possible de détecter la clé d'octave, quel que soit le saxophone utilisé. Le dispositif de transformation 30 est configuré pour lire la valeur des magnétomètres et enregistre pour chacun la plage de variation maximale du signal. Celle-ci contient les valeurs extrêmes dues au déplacement de la clé d'octave, mais aussi au bruit. Le magnétomètre qui possède la plus grande variation est sélectionné. Ensuite, un seuil hystérésique est choisi à un certain pourcentage de cette plage de signal. Ainsi, selon si la mesure est au-dessus ou en-dessous du seuil choisi, la clé d'octave est lue comme activée ou non.

[0071] L'ensemble de transmission selon l'invention peut s'adapter à différents instruments qui ont des formes de pavillon variées.

- [0072] Dans un autre mode de réalisation, le dispositif de réception R d'ondes acoustiques aériennes peut comprendre en outre un haut-parleur (par exemple disposé sur la deuxième structure, à l'extérieur de l'instrument) relié au dispositif de transformation 30, ledit haut-parleur étant configuré pour restituer le signal électrique caractéristique d'une configuration de bouchage des trous latéraux de l'instrument en une note audible.
- [0073] L'ensemble de transmission selon l'invention permet la transmission via la colonne d'air du signal généré par l'actionneur (au niveau du dispositif émetteur), le verrouillage mécanique de l'ensemble de transmission par des points de contacts assurant uniquement la mise en position et le maintien en position (avec arrêt en rotation), un système de détection de l'activation de la clé d'octave, associant par exemple et de manière illustrative une mesure magnétique et algorithme de discrimination.
- [0074] En outre, l'ensemble de transmission selon l'invention permet la réception des ondes transmises (au niveau du dispositif récepteur) à travers la colonne d'air de l'instrument, la mise en position et le maintien en position de l'ensemble de transmission dans le corps tubulaire de l'instrument sans modification de l'instrument ni gêne lors de l'utilisation de l'instrument avec des structures de fixation s'adaptant aux différents instruments, la communication entre les dispositifs de transmission, le traitement des informations grâce au dispositif de transformation, et enfin une autonomie énergétique grâce à l'implantation d'une batterie dans l'ensemble de transmission (préférentiellement dans le dispositif de réception pour des raisons d'encombrement).
- [0075] La [Fig.8] représente schématiquement une signature acoustique pour une note jouée avec un saxophone alto. Il s'agit ici d'un exemple pour représenter l'ordre de grandeur des durées de propagation et de réception d'ondes. L'instant t_0 représente le début de l'émission. A $t_0 + 2,25$ ms a lieu le début de réception. La durée de 2,25 ms correspond à la durée de propagation du signal dans l'air entre le bocal et le pavillon. La fin de réception a lieu à $t_0 + 2,25$ ms + 5 ms.
- [0076] Afin d'avoir une bonne réactivité, une excitation dans le spectre ultrasonore est privilégiée. Cela permet d'avoir un régime quasi-stationnaire plus rapidement que dans le spectre audible. A titre d'exemple, la note « La » à 442 Hz a une période de 2.26 ms. Un régime quasi-stationnaire peut être considéré après environ 10 périodes. Cela donne un délai de 22.6 ms pour détecter une telle note en utilisant le spectre audible. En utilisant une fréquence de 30 kHz, la période est réduite à 0.033 ms. Cela donne donc un délai de 0.33 ms pour 10 périodes. Dans ce cas, c'est la vitesse du son (et donc la durée nécessaire pour que le son arrive au récepteur) qui impose le délai minimal de détection.
- [0077] Typiquement, un balayage fréquentiel de 20kHz à 40kHz pour un saxophone alto émis par l'actionneur piézoélectrique génère un ultrason qui se déplace dans la colonne

d'air. Après un temps de propagation du signal dans l'air entre le bocal (dispositif d'émission) et le pavillon (dispositif de réception) d'environ 2ms, le son est enregistré par le module de réception (comme représenté sur la [Fig.8]). Le signal d'émission est modifié par la colonne d'air et la position des clapets. A la réception, ce signal comporte une signature acoustique unique. Cette signature peut être comparée soit par un algorithme de type SVM, abréviation de Support Vector Machine ou machines à vecteurs de support (ou plus largement un algorithme de machine learning) soit par un algorithme déterministe avec la signature acoustique de la calibration afin de reconnaître la note jouée.

[0078] Dans un mode de réalisation, le dispositif de réception R d'ondes acoustiques aériennes comprend en outre un capteur de température relié au dispositif de transformation 30. Ce capteur est préférentiellement disposé dans le corps creux de la deuxième structure. Le capteur de température permet de mesurer la température de l'air dans la colonne d'air.

[0079] Il a été constaté que la température environnante peut influencer la détection des notes selon les gammes de variations de température. En effet, le procédé de détection et d'identification de l'état de bouchage des trous de l'instrument opère de façon optimale pour une certaine gamme de température, par exemple à température ambiante de 20 °C, qui correspond à la température ambiante lors de la calibration. Le procédé de détection et d'identification de l'état de bouchage des trous de l'instrument assure donc une parfaite restitution des notes si l'utilisation de ce procédé est faite à cette température. Si l'instrument est utilisé à une température différente (par exemple suite à un stockage dans un coffre de voiture exposée au soleil), la détection des notes s'en trouvera affectée. Le demandeur a réalisé des essais en exposant un saxophone à une température élevée puis en utilisant, dans une pièce à 20°C, le procédé de détection et d'identification de l'état de bouchage des trous. Certaines notes ne sont pas correctement identifiées, et il faut compter 1h30 pour un retour à la normale. Cela signifie qu'une re-calibration serait nécessaire. La présence du capteur de température dans l'ensemble de transmission de l'invention permet d'avoir l'information sur la température dans la phase d'utilisation du procédé de détection. Il a été constaté qu'une augmentation de température translate le spectre fréquentiel. En présence du capteur de température, il est donc possible de faire coïncider le spectre fréquentiel avec celui à 20°C (ou toute autre température de référence correspondant à la température de l'instrument lors de la phase d'apprentissage). Les facteurs de translation de spectre fréquentiel peuvent être préalablement étudiés une unique fois lors de la phase d'apprentissage. Il y a un facteur par température pour un instrument donné. Ensuite, ce facteur est appliqué en temps réel lors de la phase d'utilisation. Ainsi, il n'est plus nécessaire de re-calibrer le procédé à chaque changement de température.

- [0080] A noter que les aspects présentés ci-dessus permettent de rendre l'ensemble de transmission le plus robuste possible. Mais cela nécessite au moins une calibration spécifique par instrument. Une modification de l'instrument ou un léger défaut tel qu'une bosse nécessite donc une nouvelle calibration puisque la transmission d'ondes via la colonne d'air s'en trouvera impactée. Une procédure de re-calibration peut être mise en place qui prend comme référence un son audible et en l'occurrence une vraie note qui sert comme référence. Alternativement, ou en complément, il est également possible de procéder à une calibration classique faite en utilisant seulement le spectre ultrasonore. Cela permet de re-calibrer la fonction de transfert associée dans le spectre ultrasonore. Pour ce recalage, un balayage fréquentiel qui couvre le spectre audible et le spectre ultrasonore doit être effectué.
- [0081] L'invention concerne aussi un instrument de musique 100 à vent à trous latéraux destiné à produire sélectivement des sons acoustiques et des sons électriques, comprenant un ensemble de transmission 60 tels que décrit précédemment.
- [0082] L'instrument de musique 100 à vent à trous latéraux peut être un saxophone ou une clarinette ou une flûte ou un hautbois ou un basson.

Revendications

[Revendication 1] Ensemble de transmission (60) d'ondes acoustiques aériennes configuré pour être combiné avec un instrument de musique (100) à vent à trous latéraux comprenant un corps tubulaire (101) définissant une colonne d'air (103), le corps tubulaire (101) s'étendant localement sensiblement selon un premier axe (X), ledit ensemble de transmission étant destiné à être disposé de façon amovible à l'intérieur du corps tubulaire (101) de l'instrument (100), l'ensemble de transmission étant caractérisé en ce qu'il comprend :

- un dispositif d'émission (E) d'ondes acoustiques aériennes dans la colonne d'air (103) comprenant :
 - une première structure de fixation (10) au corps tubulaire de l'instrument ;
 - un actionneur (11) apte à transformer un signal électrique en ondes acoustiques aériennes ;
 - un élément intermédiaire de fixation (12) de l'actionneur (11) à la première structure de fixation (10) configuré pour désolidariser l'actionneur (11) du corps tubulaire ;
- un dispositif de réception (R) d'ondes acoustiques aériennes comprenant :
 - une deuxième structure de fixation (20) au corps tubulaire de l'instrument ;
 - un microphone (21) relié à la deuxième structure de fixation (20), le microphone (21) étant apte à recevoir, après leur propagation dans la colonne d'air, les ondes acoustiques aériennes émises par l'actionneur (11), le microphone (21) étant positionné préférentiellement de manière décentrée par rapport au premier axe (X) ;
 - un dispositif de transformation (30) relié à la deuxième structure de fixation (20) et apte à transformer les ondes acoustiques aériennes reçues par le microphone (21) en un signal électrique caractéristique d'une configuration de bouchage des trous latéraux de l'instrument,
- le corps tubulaire (101) comprenant une butée (102), dans

lequel la première structure de fixation (10) comprend une glissière (14), la glissière (14) étant destinée à guider le dispositif d'émission (E) le long du corps tubulaire (101) jusqu'à la butée (102).

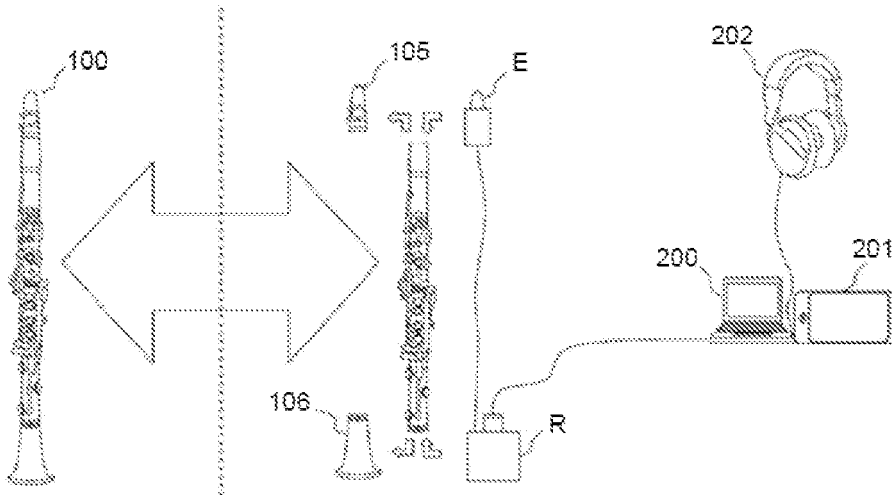
- [Revendication 2] Ensemble de transmission (60) selon la revendication 1, dans lequel l'élément intermédiaire de fixation (12) de l'actionneur (11) à la première structure de fixation (10) est une membrane isolante de sorte à empêcher un transfert d'ondes mécaniques acoustiques depuis l'actionneur (11) vers le corps tubulaire (101), l'élément intermédiaire (12) étant préférentiellement en mousse, caoutchouc, ou plastique.
- [Revendication 3] Ensemble de transmission (60) selon l'une quelconque des revendications 1 à 2, dans lequel le dispositif de réception (R) comprend un dispositif de mise en position (22) de la deuxième structure de fixation (20) par rapport au corps tubulaire (101).
- [Revendication 4] Ensemble de transmission (60) selon la revendication 3, dans lequel le dispositif de mise en position (22) de la deuxième structure de fixation (20) comprend au moins trois contacts ponctuels (23) entre la deuxième structure de fixation (20) et le corps tubulaire (101) configurés pour bloquer le dispositif de réception (R) en rotation autour du premier axe (X).
- [Revendication 5] Ensemble de transmission (60) selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel l'actionneur (11) est un actionneur piézo-électrique, une pastille piézo-électrique, un haut-parleur, ou un excitateur électrodynamique.
- [Revendication 6] Ensemble de transmission (60) selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans lequel le microphone (21) est un microphone large-bande.
- [Revendication 7] Ensemble de transmission (60) selon l'une des revendications 1 à 6, comprenant en outre un dispositif de détection (51) d'une position d'une clé de l'instrument (100) relié au dispositif de transformation (30), préférentiellement au moins deux magnétomètres (52) et un émetteur (53) de champ magnétique.
- [Revendication 8] Ensemble de transmission (60) selon l'une des revendications 1 à 7, dans lequel le dispositif de réception (R) d'ondes acoustiques aériennes comprend en outre un haut-parleur (40) relié au dispositif de transformation (30), ledit haut-parleur (40) étant configuré pour restituer le

signal électrique caractéristique d'une configuration de bouchage des trous latéraux de l'instrument en une note audible.

- [Revendication 9] Ensemble de transmission (60) selon l'une des revendications 1 à 7, dans lequel le dispositif de réception (R) d'ondes acoustiques aériennes comprend en outre un capteur de température relié au dispositif de transformation (30), le capteur de température permettant de mesurer la température de l'air dans la colonne d'air.
- [Revendication 10] Instrument de musique (100) à vent à trous latéraux destiné à produire sélectivement des sons acoustiques et des sons électriques, comprenant un ensemble de transmission (60) selon l'une quelconque des revendications 1 à 9.
- [Revendication 11] Instrument de musique (100) à vent à trous latéraux selon la revendication 10 dans lequel ledit instrument est un saxophone ou une clarinette ou une flûte ou un hautbois ou un basson.

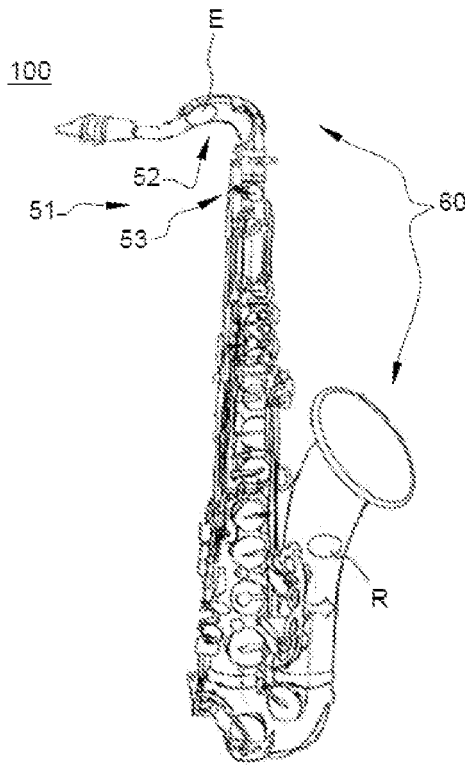
[Fig. 1]

Fig. 1



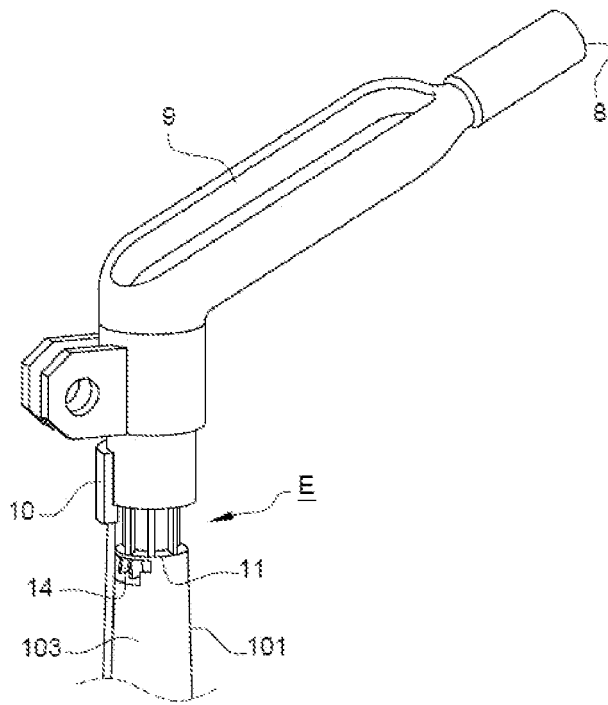
[Fig. 2]

Fig. 2



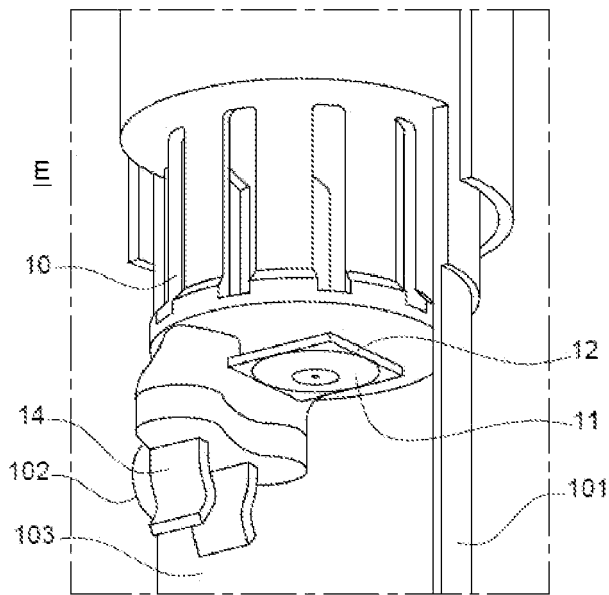
[Fig. 3]

Fig. 3

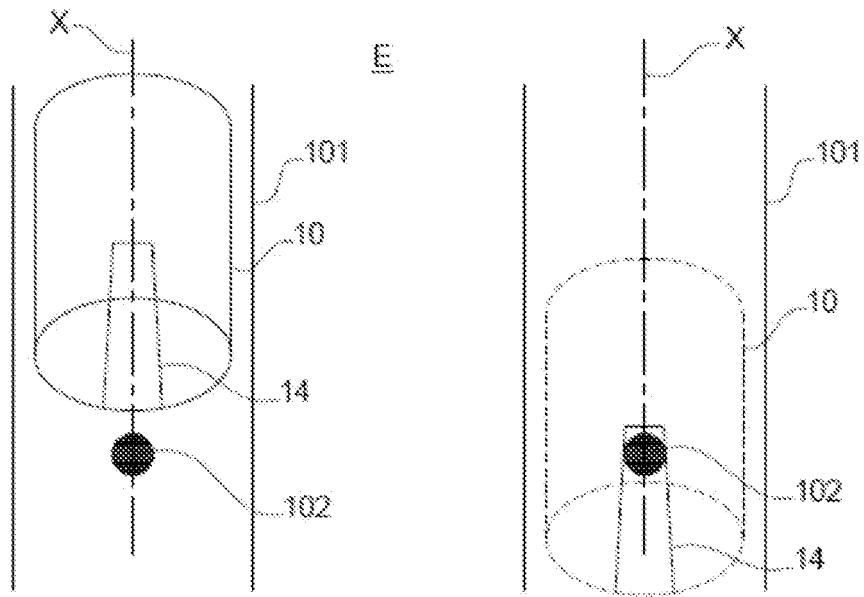


[Fig. 4]

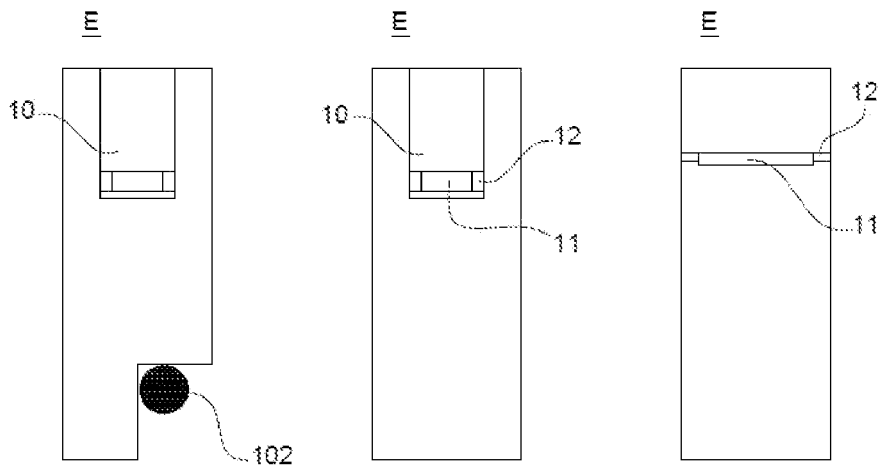
Fig. 4



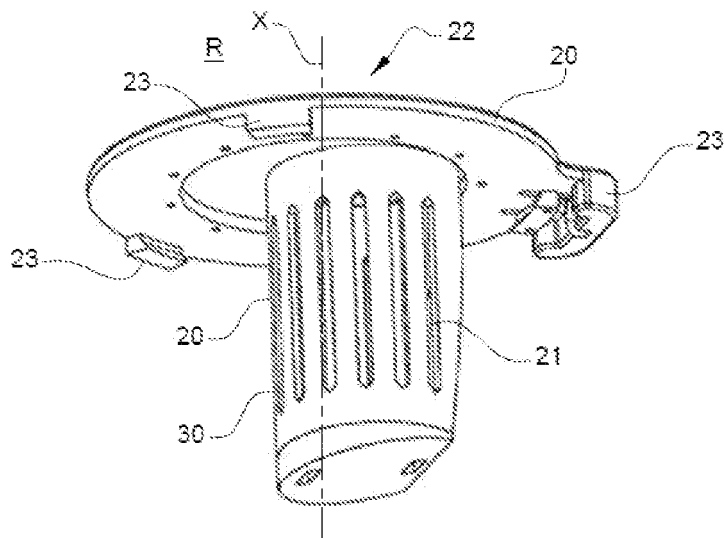
[Fig. 5]

Fig. 5

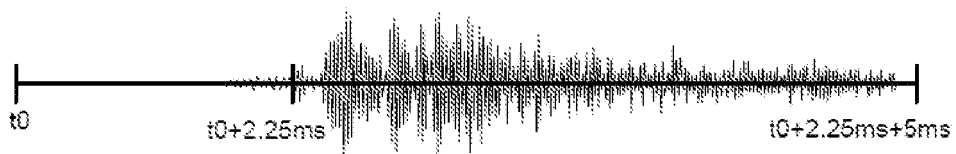
[Fig. 6]

Fig. 6

[Fig. 7]

Fig. 7

[Fig. 8]

Fig. 8

RAPPORT DE RECHERCHE

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

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

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

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

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

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

Le demandeur a maintenu les revendications.

Le demandeur a modifié les revendications.

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

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

Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

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

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

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

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

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

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

NEANT

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

GB 2 537 104 A (KEITH LESLIE HAYLER [GB])
12 octobre 2016 (2016-10-12)

US 2020/043454 A1 (SMITH BRIAN [GB] ET AL)
6 février 2020 (2020-02-06)

FR 3 103 951 A1 (COMMISSARIAT ENERGIE
ATOMIQUE [FR]) 4 juin 2021 (2021-06-04)

US 3 482 026 A (BABICKY RAYMOND C)
2 décembre 1969 (1969-12-02)

EP 0 423 858 A2 (SCHRIER S [NL])
24 avril 1991 (1991-04-24)

JP 2005 122099 A (SUENAGA YASUO)
12 mai 2005 (2005-05-12)

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

NEANT