

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

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

3 100 353

②① N° d'enregistrement national : **19 09660**

⑤① Int Cl⁸ : **G 06 F 3/041** (2019.01), G 06 F 3/048, H 04 B 11/00

①②

BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ Procédé et dispositif pour la réalisation d'un effet de clic-bouton sur une interface haptique.

②② Date de dépôt : 03.09.19.

③③ Priorité :

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 05.03.21 Bulletin 21/09.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 07.01.22 Bulletin 22/01.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑥⑥ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : HAP2U SAS — FR.

⑦② Inventeur(s) : HARAZI MAXIME et RUPIN
MATTHIEU.

⑦③ Titulaire(s) : HAP2U SAS.

⑦④ Mandataire(s) : GLOBAL INVENTIONS.

FR 3 100 353 - B1



Description

Titre de l'invention : Procédé et dispositif pour la réalisation d'un effet de clic-bouton sur une interface haptique

DOMAINE DE L'INVENTION

- [0001] L'invention concerne la réalisation d'un effet dit de « clic-bouton » sur une interface haptique grâce à l'utilisation d'ondes mécaniques stationnaires dans le domaine ultrasonore.
- [0002] Par « clic-bouton » au sens de la présente invention, encore appelé « key-click » en terminologie anglo-saxonne, on entend un effet de retour haptique d'une interface haptique au niveau de la zone de contact d'un doigt d'un utilisateur lorsque celui-ci pose un doigt sur ladite interface sans action de balayage latéral du doigt sur la surface. Autrement dit, l'effet de clic-bouton doit être ressenti dès lors que l'utilisateur appuie verticalement sur la surface sans effectuer de mouvement latéral (c'est-à-dire dans une direction tangentielle par rapport au plan de la surface de l'interface).

ETAT DE LA TECHNIQUE

- [0003] On connaît déjà plusieurs façons de réaliser un effet de clic-bouton sur des interfaces tactiles dépourvues de boutons physiques tangibles, comme par exemple les écrans tactiles de téléphones mobiles.
- [0004] La façon la plus classique de donner à l'utilisateur une sensation de clic-bouton sur une interface tactile consiste à utiliser la technologie dite « vibrotactile », qui consiste à mettre en vibration l'intégralité de l'interface tactile à basse fréquence (~50-1000 Hz) et avec une grande amplitude, de l'ordre de 1 millimètre (mm).
- [0005] Plusieurs méthodes ont été décrites pour générer de telles vibrations de basse fréquence et grande amplitude sur une interface haptique, notamment l'utilisation de plusieurs actionneurs à électro-aimants.
- [0006] Une telle approche a été décrite notamment dans le document Chen, H., J. Park, S. Dai, et H. Z. Tan. « Design and Evaluation of Identifiable Key-Click Signals for Mobile Devices ». IEEE Transactions on Haptics 4, n° 4 (octobre 2011): 229-41.
- [0007] Cette méthode possède plusieurs inconvénients. En particulier, elle nécessite l'obtention d'une grande amplitude de déplacement de la surface de l'interface, de l'ordre de 25 microns, pour que l'utilisateur puisse ressentir un effet de clic-bouton. L'obtention d'une telle amplitude nécessite beaucoup de puissance électrique et un dimensionnement important du circuit d'alimentation. En outre, l'effet de clic-bouton ressenti dépend fortement de la façon dont le doigt touche le l'interface haptique.
- [0008] Par ailleurs, un autre type de retour haptique peut être obtenu qui permet la création de textures artificielles en utilisant le principe de la lubrification ultrasonore (ou effet

« squeeze film » en terminologie anglo-saxonne). Ce dernier consiste à créer une surpression sous le doigt d'un utilisateur explorant tangentiellement une surface. Cette surpression est la conséquence de la réponse non linéaire de l'air emprisonné dans les interstices des empreintes digitales à une onde mécanique de forte amplitude se propageant dans la surface. Cette surpression crée une force normale à la surface tactile, opposée à la force d'appui du doigt, qui permet de diminuer le coefficient de friction. Les temps de propagation des ultrasons dans des surfaces rigides étant très courts, cette approche permet le contrôle en temps réel du coefficient de friction entre le doigt et la surface. Or, ce coefficient étant au cœur de notre perception de la texture d'une surface, on peut ainsi obtenir des sensations de textures artificielles. En revanche, comme ce principe agit principalement sur le coefficient de friction, il est très difficile de l'utiliser pour créer une sensation de retour haptique lorsque le doigt n'est pas en mouvement latéral par rapport à la surface tactile.

- [0009] Récemment, plusieurs tentatives ont été faites pour créer des sensations de clic-bouton avec des vibrations ultrasonores. En effet, un exemple de réalisation d'un effet de retour haptique déclenché par l'appui du doigt et basé sur l'effet de lubrification ultrasonore est décrit dans le document de Monnoyer, Jocelyn, Emmanuelle Diaz, Christophe Bourdin, et Michael Wiertlewski, intitulé « Ultrasonic Friction Modulation While Pressing Induces a Tactile Feedback », publié dans *In HAPTICS : PERCEPTION, DEVICES, CONTROL, AND APPLICATIONS, EUROHAPTICS 2016, PT I*, édité par Bello, F, Kajimoto, H, Visell, et Y, 9774:171-79. Lecture Notes in Computer Science. GEWERBESTRASSE 11, CHAM, CH-6330, Switzerland: SPRINGER INT PUBLISHING AG, 2016. Cette réalisation utilise ondes stationnaires mono-fréquentielles et identiques entre les différents actionneurs. Elle permet d'obtenir un effet de clic-bouton, mais il est très faible et extrêmement sensible à la façon dont le doigt est posé sur la surface haptique, notamment à l'angle formé entre le doigt et la surface haptique.
- [0010] Un autre exemple de clic-bouton réalisé avec des ultrasons est décrit dans le document de Tashiro, K., Y. Shiokawa, T. Aono, et T. Maeno intitulé « Realization of button click feeling by use of ultrasonic vibration and force feedback ». In *World Haptics 2009 - Third Joint EuroHaptics conference and Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems*, 1-6, 2009. Cette méthode fait appel à un actionneur piezoélectrique de type « Langevin », excité à une fréquence fixe d'environ 28kHz et une amplitude d'environ 20 μm , qui là encore pose des problèmes d'alimentation électrique.
- [0011] Enfin, un autre mode de réalisation d'un effet de clic-bouton utilisant des vibrations ultrasonores est décrit dans le document de Gueorguiev, David, Anis Kaci, Michel Amberg, Frédéric Giraud, et Betty Lemaire-Semail, intitulé « Travelling Ultrasonic

Wave Enhances Keyclick Sensation », publié dans In *Haptics: Science, Technology, and Applications*, édité par Domenico Prattichizzo, Hiroyuki Shinoda, Hong Z. Tan, Emanuele Ruffaldi, et Antonio Frisoli, 302-12. Lecture Notes in Computer Science. Springer International Publishing, 2018. Ce procédé utilise un moteur ultrasonore à base d'ondes propagatives. Les actionneurs reçoivent là encore une unique fréquence d'excitation, mais de façon déphasée, ce qui crée une onde propagative dans le support. La sensation de clic obtenue est très forte, mais elle nécessite une grande densité d'actionneurs (en fait la surface de contact est intégralement recouverte d'actionneurs), ce qui rend très difficile son intégration d'un point de vue industriel et à un coût raisonnable. De plus le procédé décrit dans cette publication utilise une configuration des actionneurs très spéciale puisqu'il s'agit d'un anneau 1D entièrement recouvert d'actionneurs.

[0012] En résumé, les méthodes connues utilisant des vibrations ultrasonores incitent à utiliser des ondes ultrasonores à une fréquence fixe. L'inconvénient principal est la faiblesse du retour haptique ressenti et la grande dépendance à la façon dont le doigt est posé sur l'interface.

BUT DE L'INVENTION

[0013] La présente invention a notamment pour but général de proposer un nouveau procédé pour générer un effet de clic-bouton sur une interface haptique, qui soit exempt des inconvénients et limitations des procédés connus résumés plus haut.

[0014] Un autre but spécifique de l'invention est de proposer un procédé utilisant des fréquences ultrasonores pour la commande des actionneurs, tout en générant un effet haptique plus important qu'avec les méthodes connues utilisant la modulation de la lubrification ultrasonore, et ce en nécessitant une puissance d'alimentation plus faible que dans les systèmes connus.

[0015] L'effet de clic-bouton obtenu doit aussi être plus robuste, et en particulier moins sensible à la façon dont l'utilisateur pose son doigt sur le support haptique.

[0016] Par ailleurs, l'invention vise à produire un « vrai » clic-bouton, offrant une sensation naturelle très proche de la sensation d'un bouton classique tangible, et en particulier un effet de clic obtenu en réponse à un toucher normal à la surface tactile, sans nécessiter un mouvement de balayage tangentiel du doigt par rapport à la surface.

[0017] Enfin, le procédé proposé par l'invention doit être aisé à mettre en œuvre d'un point de vue pratique et industriel, et en particulier ne doit pas nécessiter une grande densité d'actionneurs sur la surface tactile.

Résumé de l'invention

[0018] Dans son principe, l'invention consiste en un procédé permettant d'obtenir une sensation de clic-bouton sur une interface haptique munie d'un ou plusieurs trans-

ducteurs ultrasonores disposés en divers endroits de l'interface. Selon ce procédé, au lieu de soumettre le support haptique à une onde stationnaire de fréquence fixe correspondant à une fréquence de résonance du support comme enseigné par l'état de la technique, l'invention prévoit d'appliquer au support une séquence haptique constituée par au moins deux ondes stationnaires ultrasonores successives et de fréquences différentes.

- [0019] L'invention montre alors que l'utilisation de deux fréquences différentes mises en forme d'une façon particulière dans une séquence permet de faire ressentir lors du changement de fréquence un effet de clic-bouton plus réaliste et plus perceptible sous un doigt de l'utilisateur.
- [0020] L'invention a donc pour objet un procédé pour la réalisation d'un effet de retour haptique sur une interface haptique pourvue d'actionneurs électromécaniques configurés pour appliquer à ladite interface haptique des vibrations ultrasonores aptes à créer des ondes stationnaires, caractérisé en ce qu'il comporte des étapes consistant à :
- [0021] a. Dans une phase préalable de caractérisation, déterminer un ensemble (Ω) de fréquences de résonance f_i de l'interface haptique dans le domaine ultrasonore ;
- b. Définir une séquence haptique consistant en un signal électrique $s(t)$ formé d'une succession d'au moins deux signaux périodiques possédant des fréquences f_i, f_j différentes l'une de l'autre appartenant audit ensemble de fréquences (Ω) de résonance de l'interface haptique ;
- c. Dans une phase d'utilisation, détecter une action d'un utilisateur sur une zone de l'interface haptique;
- d. En réponse à ladite détection, exciter les actionneurs électromécaniques à l'aide dudit signal électrique $s(t)$, de façon à créer une vibration de la surface haptique procurant à l'utilisateur une sensation de clic-bouton.
- [0022] De préférence, les ondes stationnaires appliquées à l'interface haptique sont des ondes planes.
- [0023] Selon un mode de réalisation de l'invention, les signaux périodiques sont des signaux sinusoïdaux, carrés, ou triangulaires, possédant une amplitude identique ou des amplitudes différenciées, par exemple par convolution avec un signal gaussien ou autre.
- [0024] Selon un mode de réalisation, le signal d'excitation $s(t)$ est de durée finie t_2 et se compose d'un premier train d'onde périodique de durée t_1 et de fréquence f_i correspondant à une première fréquence de résonance du support, suivi d'un second train d'onde périodique de durée $t_2 - t_1$ et de fréquence f_j correspondant à une seconde fréquence de résonance du support, différente de la première fréquence de résonance f_i .
- [0025] Avantageusement, les durées t_1 et $t_2 - t_1$ sont comprises entre 0,1 ms et 10 ms.
- [0026] Selon un mode de réalisation, deux trains d'ondes successifs du signal $s(t)$ sont

- séparés par un temps mort sans excitation, d'une durée comprise entre 0,1 ms et 15 ms.
- [0027] De façon avantageuse, l'amplitude des signaux périodiques est choisie de manière que l'amplitude de la vibration mécanique correspondant à l'effet de clic-bouton généré soit d'environ 1 micromètre.
- [0028] Selon une variante de réalisation, la séquence haptique comporte plusieurs transitions de fréquences, ce qui permet de personnaliser davantage la perception du clic-bouton par l'utilisateur.
- [0029] Selon un mode de réalisation de l'invention, l'interface haptique possède une surface tactile et l'étape de détection d'une action de l'utilisateur consiste à détecter le contact du doigt sur la surface tactile et à déclencher l'émission de la séquence haptique lorsque le doigt de l'utilisateur entre en contact avec ladite surface.
- [0030] Selon une variante de réalisation, l'interface haptique comporte des capteurs de force de contact et l'étape de détection d'une action de l'utilisateur consiste à mesurer la force d'appui du doigt de l'utilisateur et à déclencher l'émission de la séquence haptique lorsque la force normale exercée par le doigt sur la surface de l'interface haptique dépasse une certaine valeur seuil prédéterminée.
- [0031] L'invention a également pour objet une interface haptique comportant un support présentant une surface susceptible de présenter un retour haptique vers un utilisateur agissant sur cette surface au moyen d'au moins un doigt, ledit support étant soumis à des vibrations ultrasonores générées par des actionneurs électromécaniques fixés audit support en réponse à des signaux électriques de commande envoyés aux actionneurs par une électronique de commande, caractérisé en ce que l'électronique de commande est configurée pour générer un signal électrique $s(t)$ selon le procédé décrit plus haut.
- [0032] Selon un mode de réalisation pratique, les actionneurs électromécaniques sont des céramiques piézoélectriques émettant des vibrations périodiques à des fréquences comprises entre 20 kHz et 200 kHz.
- [0033] Selon un mode de réalisation, l'interface haptique peut comporter une interface de paramétrage permettant à l'utilisateur de choisir des paramètres du système tels que la forme d'onde des signaux périodiques, des paires de fréquences (f_i, f_j) ou des triplets ou plus généralement des multiplets de fréquences, la durée des fenêtres temporelles de la séquence haptique, la durée d'un temps mort éventuel entre deux trains d'onde, et de tester l'influence des différents paramètres sur la qualité de l'effet de clic-bouton obtenu.

DESCRIPTION DETAILLEE

- [0034] L'invention sera décrite plus en détail à l'aide des figures, dans lesquelles :
- [0035] – La [Fig.1] est un diagramme représentant l'amplitude moyenne de déplacement de la surface d'une interface haptique à diverses fréquences vi-

- bratoires appliquées ;
- La [Fig.2] représente un diagramme de l'amplitude en fonction du temps et de la fréquence selon une première variante du signal d'excitation transmis par les actionneurs ultrasonores au support haptique ;
 - Les figures 3 et 4 représentent des diagrammes de l'amplitude en fonction du temps et de la fréquence selon d'autres variantes du signal d'excitation transmis par les actionneurs ultrasonores au support haptique ;
 - La [Fig.5] représente la réponse d'un support haptique excité à l'aide du procédé selon l'invention, en fonction de l'appui d'un doigt atteignant deux paliers de forces différents ;
 - La [Fig.6] représente un organigramme des étapes du procédé selon l'invention ;
 - La [Fig.7] représente un schéma de principe d'un système configuré pour mettre en œuvre le procédé selon l'invention.
- [0036] On se réfère à la [Fig.1], qui illustre la première étape du procédé selon l'invention. Elle consiste à caractériser les propriétés vibratoires de l'interface haptique, en déterminant les fréquences de résonance (en Hertz, noté Hz) de celle-ci. Pour cela on mesure l'amplitude vibratoire de l'interface (en mètre, noté m) obtenue à différentes fréquences vibratoires appliquées à l'aide des transducteurs électromécaniques. On obtient donc une courbe comme celle représentée en [Fig.1], présentant une série de pics d'amplitude correspondant à des fréquences de résonance f_1 , f_2 , etc. L'ensemble de ces fréquences de résonance est noté Ω .
- [0037] Il est à noter que l'étape de caractérisation 10 peut être réalisée une fois pour toutes au début du fonctionnement ou lors de la mise en marche du dispositif, ou effectuée de façon répétitive et dynamique à chaque interaction avec l'utilisateur, par exemple pour tenir compte en temps réel de modifications des fréquences de résonance en fonction de paramètres extérieurs, comme la température ambiante.
- [0038] En pratique cette étape de caractérisation peut être effectuée à l'aide d'un vibromètre laser mesurant l'amplitude de la vibration, ou éventuellement à l'aide d'un impédance-mètre, cependant moins précis. A chaque fréquence de résonance est associée une amplitude. Plus l'amplitude associée à un mode de vibration sera grande, et plus il sera facile d'obtenir un déplacement important de l'interface haptique.
- [0039] Par effet de clic-bouton au sens de la présente invention, tel que ressenti par l'utilisateur, on entend un effet de retour haptique au bout des doigts de l'utilisateur, présentant les propriétés suivantes :
- [0040] **Geste associé** : la sensation de clic-bouton doit être ressentie en réponse à un geste spécifique de l'utilisateur, à savoir un geste équivalent à celui d'un opérateur appuyant sur un bouton physique tangible, c'est-à-dire un appui du doigt selon une direction

normale par rapport à la surface du support haptique, sans nécessiter de mouvement latéral du doigt de la part de l'opérateur.

[0041] **Brièveté** : la durée typique du retour haptique visé est de l'ordre de 5 ms, tout en pouvant être un peu plus courte ou un peu plus longue.

[0042] **Perception** : la perception du retour haptique doit être marquée et procurer une sensation similaire à l'appui sur un bouton tangible 3D.

[0043] Afin d'obtenir un effet de clic-bouton tel que défini plus haut, l'invention prévoit de doter l'interface haptique d'une série d'actionneurs électromécaniques, par exemple des céramiques piézoélectriques, et d'appliquer à ces actionneurs une séquence haptique spécifique en réponse au contact du doigt de l'utilisateur sur la surface haptique.

[0044] Par « séquence haptique » au sens de la présente invention, on entend le profil (amplitude et fréquence pendant une fenêtre temporelle) du signal électrique $s(t)$ utilisé pour exciter le ou les actionneurs en réponse à une action de l'opérateur, typiquement le toucher de l'interface.

[0045] Un premier exemple de séquence haptique est représenté en [Fig.2]. A la différence des procédés connus qui excitent les actionneurs à une fréquence de résonance unique du support, la séquence haptique utilisée par le procédé selon l'invention se distingue par l'utilisation d'au moins deux fréquences d'excitation distinctes, correspondant à des fréquences de résonance déterminées pendant l'étape de caractérisation de l'interface haptique. Il a en effet été observé de façon surprenante qu'un effet de clic-bouton tel que défini plus haut se produit à l'instant du changement de fréquence d'excitation.

[0046] Comme représenté dans l'exemple de la [Fig.2], le signal d'excitation $s(t)$ (correspondant à la séquence haptique) de durée t_2 se compose d'un premier train d'onde périodique, notamment sinusoïdal, de durée t_1 et de fréquence f_i correspondant à une première fréquence de résonance du support, suivi d'un second train d'onde, périodique, notamment sinusoïdal, de durée $t_2 - t_1$ et de fréquence f_j correspondant à une seconde fréquence de résonance du support, différente de la première fréquence de résonance.

[0047] Dans l'exemple représenté, l'amplitude du signal d'excitation, mesuré en Volt (V), est constante.

[0048] Selon un mode de réalisation pratique, les durées t_1 et $t_2 - t_1$ sont typiquement comprises entre 1 milliseconde (ms) et 10 millisecondes et de fréquence $f_i \in \Omega$ (une fréquence de résonance précédemment déterminée). Les fréquences f_i, f_j (avec i différent de j) appartiennent à l'ensemble noté Ω des fréquences de résonance du support.

[0049] Comme représenté en [Fig.3], l'enveloppe du signal d'excitation $s(t)$ peut être

modulée par convolution avec un autre signal, par exemple un signal gaussien, ce qui a pour effet de modifier l'amplitude du signal d'excitation pendant la fenêtre temporelle $(0, t_2)$. En jouant ainsi sur l'amplitude des différents trains d'onde, on obtient des sensations de clic-bouton différenciées.

- [0050] D'autres variantes sont possibles, notamment en jouant sur la forme et la durée des signaux de commande de fréquences différentes utilisés.
- [0051] Selon une variante non représentée, il est par exemple possible de laisser un temps mort entre deux trains d'ondes successifs du signal d'excitation. Ce temps mort sans excitation a alors une durée comprise entre 0,1 ms et 15 ms.
- [0052] Alternativement, il est possible d'utiliser plus de deux trains d'ondes successifs à des fréquences de résonance différentes. On obtient alors un effet de clic-bouton à chaque transition de fréquence. Par exemple, comme représenté en [Fig.4], une première transition de la fréquence f_i vers la fréquence f_j provoque un premier effet de clic-bouton, et une seconde transition de fréquence f_j vers la fréquence f_i initiale (ou vers une troisième fréquence f_k différente de la seconde fréquence f_j) provoque une autre sensation de clic-bouton. De cette manière, il est possible d'obtenir des rendus de clic-bouton différents : par exemple un clic-bouton plus ou moins tranché, marqué, bref, doux, etc.
- [0053] Un mode de réalisation du système pour mettre en œuvre le procédé selon l'invention peut alors inclure une interface de paramétrage permettant à l'utilisateur de moduler la sensation de clic-bouton à sa convenance, en choisissant parmi plusieurs couples ou multiplets de fréquences pré-associés à des sensations de clic variées.
- [0054] L'amplitude électrique du signal envoyé doit être choisie de façon à obtenir un déplacement d'au moins $1 \mu\text{m}$ à l'endroit où le doigt touche l'interface. Cette amplitude dépend notamment du nombre d'actionneurs utilisés, de leurs positions, de leurs efficacités, ainsi que du couplage mécanique entre ces derniers et l'interface haptique.
- [0055] Il y a plusieurs possibilités pour choisir l'instant d'émission de la séquence haptique. L'idée générale consiste à envoyer le signal électrique lors d'une action de la part de l'utilisateur, c'est-à-dire lors d'un contact entre le doigt et le support haptique.
- [0056] Une première possibilité consiste à détecter le contact du doigt sur la surface haptique et à déclencher l'émission de la séquence haptique lorsque le doigt de l'utilisateur entre en contact avec la surface, par exemple à l'aide d'un écran tactile capacitif, dans une zone prédéfinie de celui-ci. Il peut s'agir par exemple d'une zone de l'interface haptique affichant un bouton virtuel ou une touche d'un clavier virtuel ou encore une icône associée à une action ou à une fonction.
- [0057] Une seconde possibilité schématisée en [Fig.5] consiste à doter l'interface haptique d'un capteur de force et à déclencher l'émission de la séquence haptique lorsque la force normale exercée par le doigt sur la surface de l'interface dépasse une certaine

valeur seuil.

- [0058] L'utilisation d'un capteur de force permet par ailleurs d'affiner l'effet haptique obtenu en faisant émettre une première séquence générant un effet de clic-bouton lorsque la force normale d'appui du doigt sur le support franchit une première valeur seuil P1 puis une seconde séquence à partir du moment où la force d'appui dépasse une seconde valeur seuil P2 (inférieure ou supérieure à P1). La seconde séquence haptique peut aussi être configurée pour générer un second effet de clic-bouton différent du premier. Autrement dit, on obtiendra un effet de « clic-clac bouton ».
- [0059] En [Fig.6] on a résumé sous forme d'organigramme les étapes du procédé nécessaires pour générer un effet de clic-bouton conformément à l'invention.
- [0060] Comme indiqué plus haut, dans une première étape 10 il est nécessaire de réaliser une caractérisation physique du support de l'interface haptique, afin de déterminer notamment l'ensemble Ω de ses fréquences de résonance.
- [0061] Puis dans une seconde étape 11, on définit une séquence haptique, à savoir le signal de commande ou d'excitation $s(t)$ des actionneurs qui doivent mettre en vibration le support haptique pour obtenir l'effet de clic-bouton recherché. Comme expliqué plus haut, il s'agit d'un signal périodique, par exemple sinusoïdal, possédant une transition entre au moins deux fréquences ultrasonores distinctes correspondant à des fréquences de résonance déterminées pendant l'étape de caractérisation 10.
- [0062] Ensuite le procédé entre dans une boucle de test 12 consistant à vérifier en continu si un utilisateur interagit avec l'interface haptique, par exemple en y posant un doigt. A cette fin on détecte soit un contact (au moyen par exemple de capteurs capacitifs placés sur la surface), soit le fait qu'une force de contact atteigne un seuil prédéfini (au moyen de capteurs de force disposés sur l'interface haptique).
- [0063] En cas de détection d'une action de la part d'un utilisateur, le procédé lance en étape 13 la séquence haptique préalablement définie en étape 11, ce qui générera un effet de click-bouton de bonne qualité, bien perceptible par l'utilisateur, sensiblement comme le serait le fait d'appuyer sur une touche ou un bouton d'un clavier physique tangible.
- [0064] En [Fig.7] on a représenté un schéma de principe d'un dispositif haptique 20 agencé pour mettre en œuvre le procédé selon l'invention. Il comporte une surface d'interface haptique 21, pourvu d'un certain nombre d'actionneurs électromécaniques 22, par exemple des actionneurs piézoélectriques 22 compatibles avec des fréquences d'actionnement comprises entre 20 kHz et 200 kHz. Ceux-ci sont de préférence disposés de façon linéique de manière à créer des ondes planes, ce qui permet d'utiliser à un instant donné les mêmes fréquences d'actionnement (f_i) pour tous les actionneurs et d'obtenir le même ressenti de clic-bouton en tout point de la surface haptique.
- [0065] Le signal $s(t)$ d'excitation des actionneurs 22 est généré par une électronique de commande 23 disposée par exemple sous la surface haptique. Elle comporte une ali-

mentation électrique (non représentée) et un microcontrôleur 24. Celui-ci intègre un processeur 25 comprenant un microprogramme (ou « firmware » en terminologie anglo-saxonne) pourvu d'une fonction 27 de changement de fréquence vibratoire appelée par un module 28 de génération d'une séquence haptique utilisant au moins deux fréquences. La séquence $s(t)$ est transmise par le microcontrôleur 24 à un amplificateur 29 qui met en forme et amplifie le signal de commande transmis aux actionneurs 22, afin de mettre en vibration la surface et créer un retour haptique de type clic-bouton. »

[0066] Différentes séquences haptiques et l'ensemble Ω des fréquences de résonance sont stockées dans une mémoire 24 connectée de façon bidirectionnelle au processeur 25.

[0067] L'interface haptique (20) peut utilement comporter une interface de paramétrage (non représentée) permettant à l'utilisateur de choisir des paramètres du système tels que la forme d'onde des signaux périodiques, et des paires de fréquences (f_i, f_j) , voire des triplets ou multiplets de fréquences de résonance, la durée des fenêtres temporelles de la séquence haptique, la durée d'un temps mort éventuel entre deux trains d'onde, et de tester l'influence des différents paramètres sur la qualité de l'effet de clic-bouton obtenu.

AVANTAGES DE L'INVENTION

[0068] L'invention répond aux buts fixés. En particulier, elle a l'avantage de pouvoir être mise en place dans tout dispositif haptique ultrasonore préexistant sans modification notable du matériel, du moment que la chaîne d'actionnement est capable de générer des vibrations micrométriques aux fréquences d'intérêt. La modification nécessaire ne concerne que le firmware qui doit être configuré pour mettre en œuvre le procédé décrit, et en particulier pour générer les séquences haptiques utilisant plusieurs fréquences de résonance du support.

[0069] Il en découle que contrairement aux dispositifs haptiques connus utilisant une technologie vibro-tactile, il sera possible grâce à l'invention de combiner la création de textures fines utilisant l'effet de lubrification ultrasonore, et l'obtention d'un effet de clic-bouton avec un seul et même hardware, à savoir le support, les actionneurs et leur électronique de commande.

[0070] Contrairement aux procédés connus utilisant une technologie ultrasonore nécessitant de recouvrir intégralement la surface haptique avec des actionneurs pour obtenir un effet de clic-bouton, le procédé selon l'invention ne nécessite pas une grande densité d'actionneurs, par exemple une ligne d'actionneurs répartis le long d'un bord d'une surface rectangulaire. Les actionneurs n'ont pas besoin de générer des amplitudes de vibration importantes de l'ordre de 25 microns, une amplitude de l'ordre d'un micron suffit, ce qui minimise la puissance électrique nécessaire.

[0071] Malgré cela, l'effet de clic-bouton ressenti est plus important avec le procédé selon

l'invention qu'avec les méthodes disponibles dans l'état de la technique.

[0072] En outre, l'effet de clic-bouton obtenu grâce à l'invention est plus robuste, c'est-à-dire peu sensible à la façon dont le doigt est posé sur le support, et il s'agit d'un clic-bouton plus naturel, qui ne nécessite pas de mouvement tangentiel du doigt de l'utilisateur sur la surface de l'interface haptique.

Revendications

[Revendication 1]

Procédé pour la réalisation d'un effet de retour haptique par effet dit de lubrification ultrasonore sur une interface haptique (20) pourvue d'actionneurs électromécaniques (22) configurés pour appliquer à ladite interface haptique des vibrations ultrasonores aptes à créer des ondes stationnaires à des fréquences de résonance de l'interface haptique, caractérisé en ce qu'il comporte des étapes consistant à :

- a. Dans une phase préalable de caractérisation (10) de l'interface haptique (20), déterminer un ensemble (Ω) de fréquences de résonance f_i de l'interface haptique (20) dans le domaine ultrasonore ;
- b. Définir une séquence haptique consistant en un signal d'excitation électrique $s(t)$ formé d'une succession d'au moins deux signaux périodiques possédant des fréquences f_i, f_j distinctes l'une de l'autre appartenant audit ensemble de fréquences (Ω) de résonance de l'interface haptique (20) ;
- c. Dans une phase d'utilisation, détecter (12) un appui du doigt d'un utilisateur sur une zone d'une surface (21) de l'interface haptique (20) selon une direction normale par rapport à la surface de l'interface haptique, sans mouvement latéral du doigt de la part de l'utilisateur ;
- d. En réponse à ladite détection (12), exciter (13) les actionneurs électromécaniques (22) à l'aide dudit signal d'excitation électrique $s(t)$ de façon à produire une séquence haptique constituée par au moins deux ondes stationnaires ultrasonores successives et de fréquences différentes, ladite séquence créant une vibration de la surface haptique procurant à l'utilisateur une sensation de clic-bouton.

1. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que les ondes stationnaires sont des ondes planes.
2. Procédé selon l'une quelconques des revendications précédentes, caractérisé en ce que lesdits signaux périodiques sont des signaux sinusoïdaux, carrés, ou triangulaires, possédant une amplitude identique ou des amplitudes différenciées.
3. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le signal d'excitation $s(t)$ est de durée finie t_2 et se compose d'un premier train d'onde périodique de durée t_1 et de fréquence f_i correspondant à une première fréquence de résonance de l'interface haptique, suivi d'un second train d'onde périodique de durée $t_2 - t_1$ et de

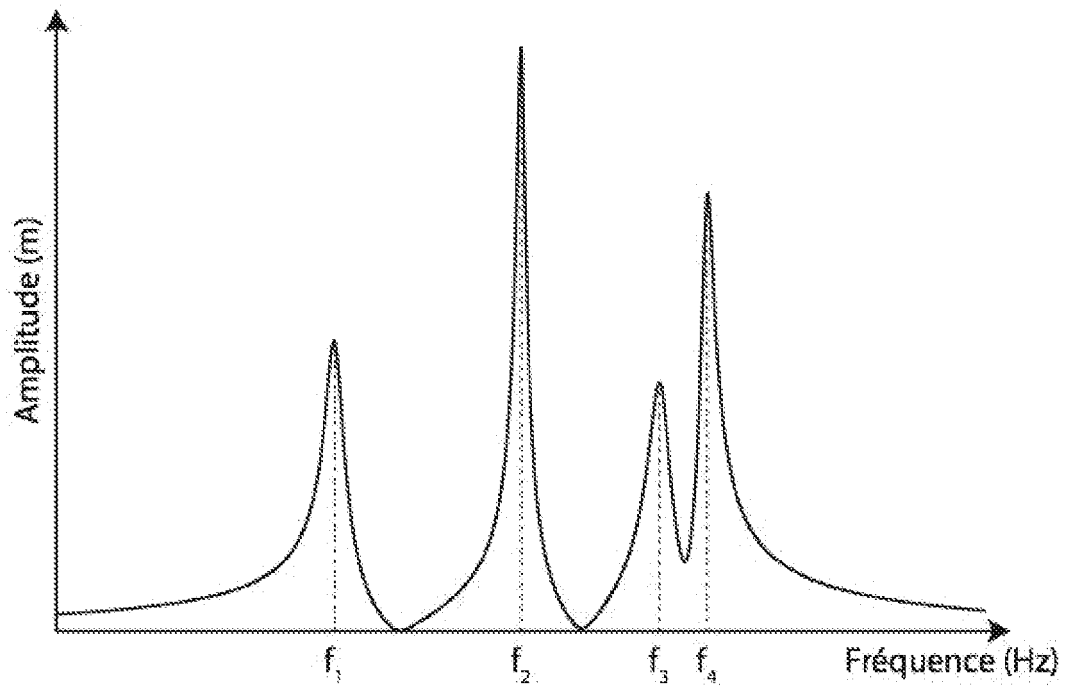
fréquence f_j correspondant à une seconde fréquence de résonance de l'interface haptique, différente de la première fréquence de résonance f_i .

4. Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce que les durées t_1 et $t_2 - t_1$ sont comprises entre 0,1 ms et 10 ms.
5. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que deux trains d'ondes successifs du signal $s(t)$ sont séparés par un temps mort sans excitation, d'une durée comprise entre 0,1 ms et 15 ms.
6. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'amplitude des signaux périodiques est choisie de manière que l'amplitude de la vibration mécanique du support de l'interface haptique (20) correspondant à l'effet de clic-bouton généré soit d'environ 1 micromètre.
7. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que la séquence haptique comporte plusieurs transitions de fréquences.
8. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'interface haptique (20) possède une surface tactile (21) et en ce que l'étape (12) de détection d'une action de l'utilisateur consiste à détecter le contact du doigt sur la surface tactile (21) et à déclencher l'émission de la séquence haptique lorsque le doigt de l'utilisateur entre en contact avec ladite surface tactile.
9. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisé en ce que l'interface haptique (20) comporte au moins un capteur de force de contact et en ce que l'étape (12) de détection d'une action de l'utilisateur consiste à mesurer la force d'appui du doigt de l'utilisateur et à déclencher l'émission de la séquence haptique lorsque la force normale exercée par le doigt sur la surface (21) de l'interface haptique (20) dépasse une certaine valeur seuil prédéterminée.
10. Interface haptique (20) comportant un support présentant une surface (21) susceptible de présenter un retour haptique vers un utilisateur agissant sur cette surface au moyen d'au moins un doigt, ledit support étant soumis à des vibrations ultrasonores générées par des actionneurs électromécaniques

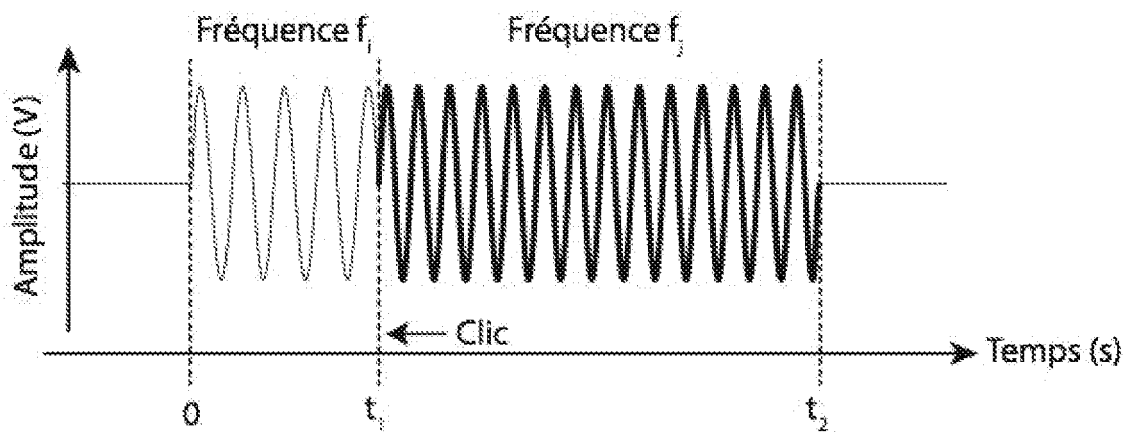
(22) fixés audit support en réponse à des signaux électriques de commande envoyés aux actionneurs par une électronique de commande (23), caractérisé en ce que l'électronique de commande (23) est configurée pour générer un signal électrique $s(t)$ selon le procédé conforme à l'une quelconque des revendications précédentes.

11. Interface haptique (20) selon la revendication 11, caractérisée en ce que les actionneurs électromécaniques (22) sont des céramiques piézoélectriques émettant des vibrations périodiques à des fréquences comprises entre 20 kHz et 200 kHz.
12. Interface haptique (20) selon la revendication 11 ou la revendication 12, caractérisée en ce qu'elle comporte une interface de paramétrage permettant à l'utilisateur de choisir des paramètres du système tels que la forme d'onde des signaux périodiques, le multiplet de fréquences (f_i, f_j, \dots) , la durée des fenêtres temporelles de la séquence haptique, la durée d'un temps mort éventuel entre deux trains d'onde, et de tester l'influence des différents paramètres sur la qualité de l'effet de clic-bouton obtenu.

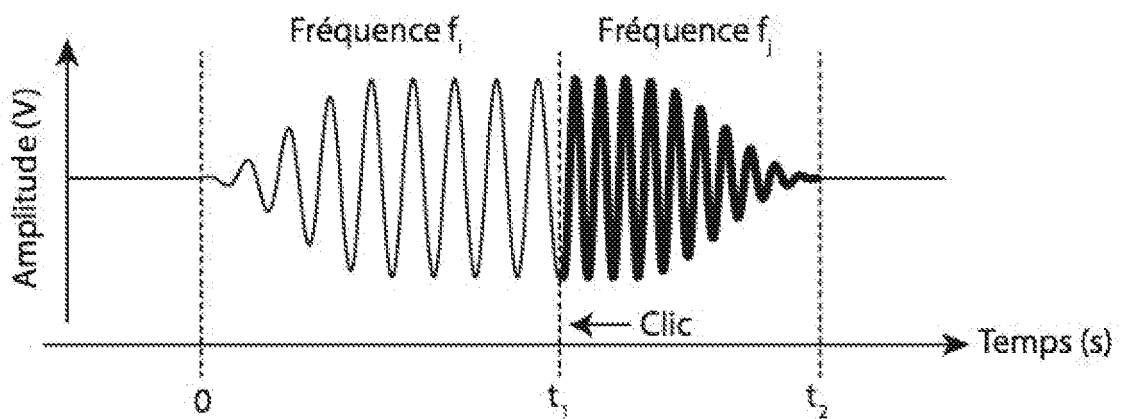
[Fig. 1]



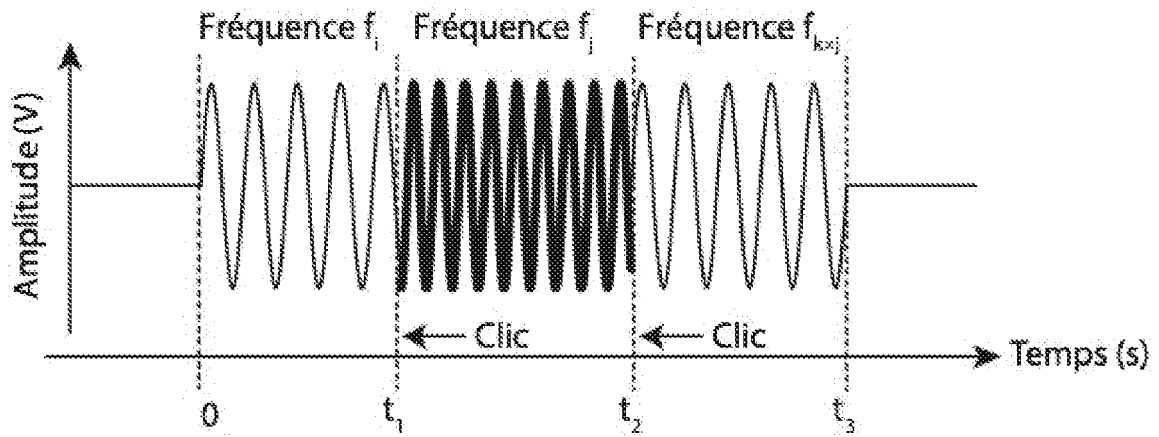
[Fig. 2]



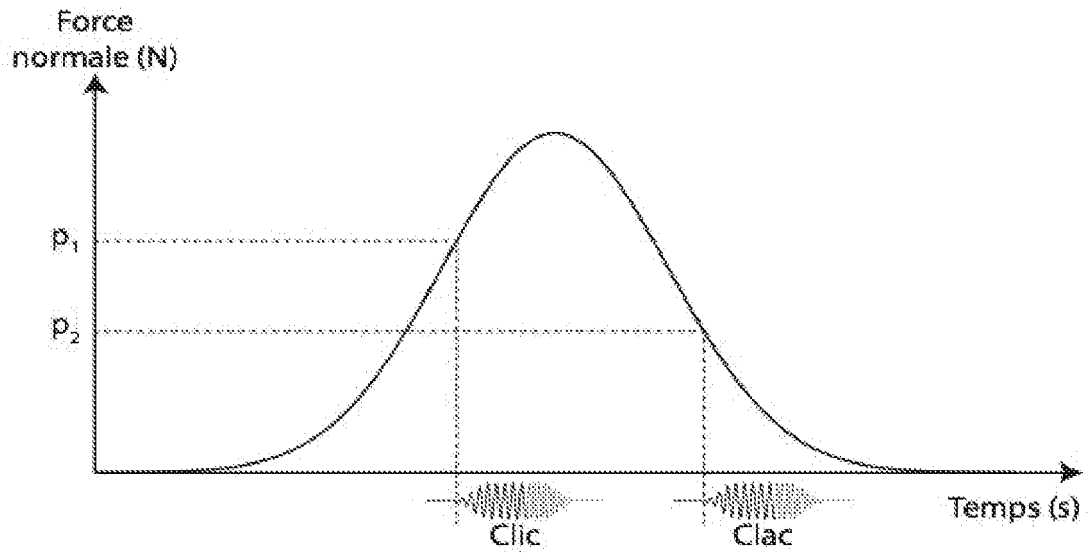
[Fig. 3]



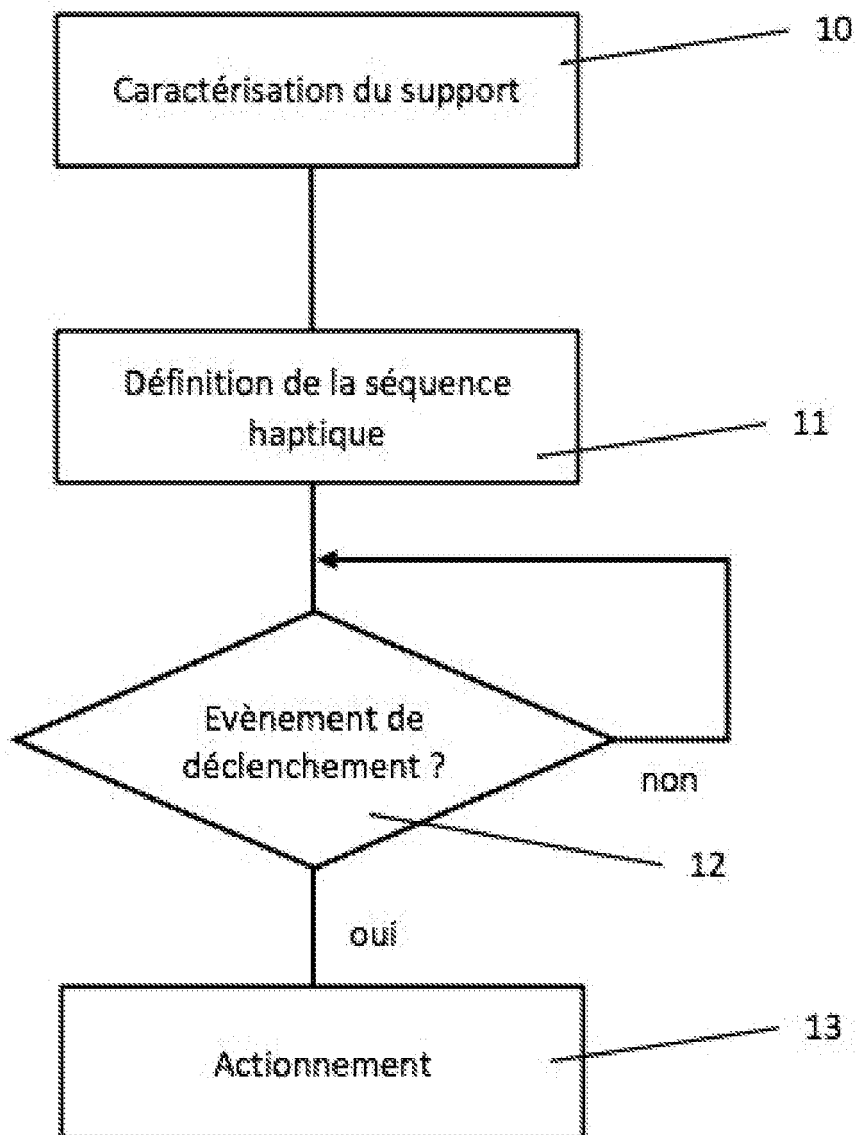
[Fig. 4]



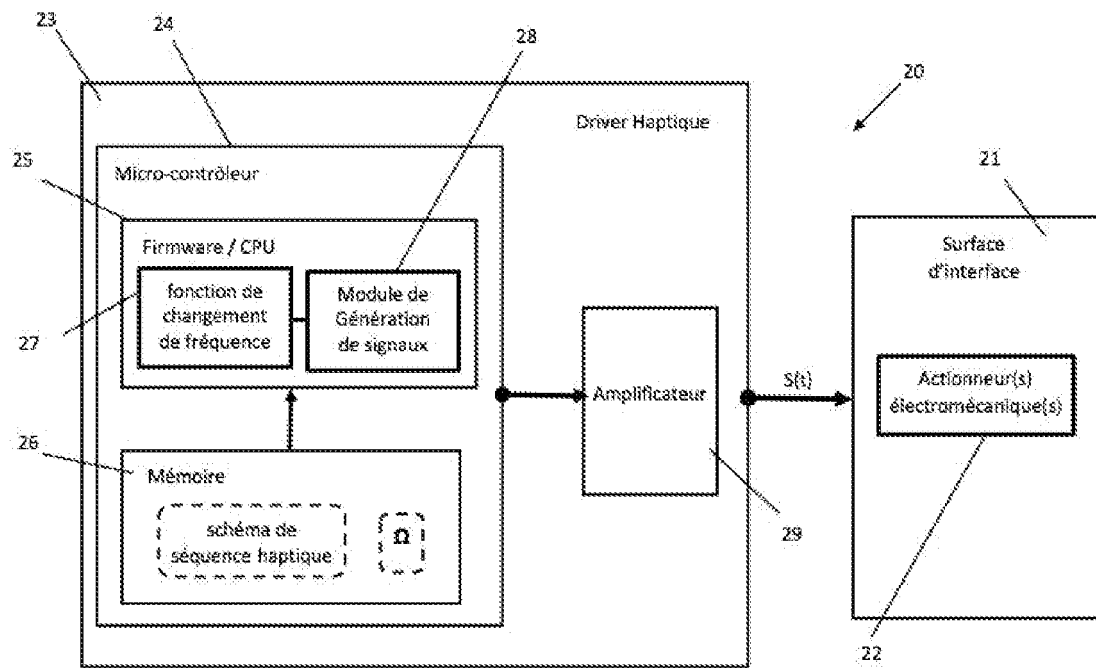
[Fig. 5]



[Fig. 6]



[Fig. 7]



RAPPORT DE RECHERCHE

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

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

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

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

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

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

Le demandeur a maintenu les revendications.

Le demandeur a modifié les revendications.

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

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

Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

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

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

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

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

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

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

US 2012/256848 A1 (MADABUSI SRINIVASAN
PRASAD VENKATESH [US])
11 octobre 2012 (2012-10-11)

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

WO 2019/141919 A1 (PSA AUTOMOBILES SA
[FR]; CENTRE NAT RECH SCIENT [FR] ET AL.)
25 juillet 2019 (2019-07-25)

MONNOYER JOCELYN ET AL: "Ultrasonic
Friction Modulation While Pressing Induces
a Tactile Feedback",
3 juillet 2016 (2016-07-03), INTERNATIONAL
CONFERENCE ON FINANCIAL CRYPTOGRAPHY AND
DATA SECURITY; [LECTURE NOTES IN COMPUTER
SCIENCE; LECT.NOTES COMPUTER], SPRINGER,
BERLIN, HEIDELBERG, PAGE(S) 171 - 179,
XP047354331,
ISBN: 978-3-642-17318-9
[extrait le 2016-07-03]

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

NEANT