

DISPOSITIF DE SIMULATION CHIRURGICALE

DOMAINE TECHNIQUE DE L'INVENTION

La présente invention concerne le domaine des instruments et matériels médicaux. Plus
5 particulièrement, l'invention concerne un dispositif de simulations chirurgicales.

ARRIÈRE-PLAN TECHNIQUE

Il est connu, dans le domaine de la médecine, de proposer des dispositifs d'entraînement
aux apprenants chirurgiens et chirurgiennes. Les apprenants peuvent bien évidemment
10 s'entraîner sur des corps de défunts mais ceux-ci sont en nombre limité. Les apprenants
peuvent également s'entraîner sur des patients vivants sous la supervision d'un chirurgien
ou d'une chirurgienne confirmé(e), mais cette pratique présente toutefois un risque pour
le patient. Il est donc essentiel de proposer des systèmes permettant de libérer
l'apprentissage de la chirurgie de la disponibilité de corps de défunts ou de patients.

15 De nombreux exemples de tels systèmes existent déjà dans l'état de la technique, comme
illustrés par exemple, dans les documents EP 1746558 B1, et WO 2019204615 (A1).

Le document EP1746558 B divulgue un système pour simuler une opération chirurgicale,
par un utilisateur, sur un corps, simulé avec au moins deux instruments réels. Le système
comprend une piste longitudinale et une pluralité de chariots mobiles le long de ladite
20 piste. Chaque chariot a des moyens de serrage et des moyens pour faire tourner et déplacer
longitudinalement lesdits instruments réels. Le système comprend également des moyens
de rétroaction pour recevoir et transmettre, à la main de l'utilisateur, une force de
rétroaction dudit instrument réel par rapport à la caractéristique de simulation, des moyens
pour reconnaître un instrument réel à insérer dans lesdits moyens de serrage, moyennant
25 quoi ledit instrument réel peut être fixé à l'intérieur desdits moyens de serrage pour être
déplacé longitudinalement et tourné par l'utilisateur.

Le document WO 2019204615 (A1) divulgue un appareil comprenant un dispositif
d'endoscopie, et un dispositif de suivi adapté pour fonctionner avec un système de suivi

tridimensionnel pour suivre l'emplacement et l'orientation du dispositif d'endoscopie dans trois dimensions dans un environnement simulé de salle d'opération. L'appareil comprend également un modèle physique de tête de patient comprenant des composants durs et mous, et le dispositif d'endoscopie est configuré pour être inséré dans le modèle physique
5 pour fournir une rétroaction haptique de la chirurgie endoscopique.

Les deux documents divulguent des dispositifs d'entraînement à la chirurgie en combinant un système mécanique (instruments chirurgicaux et/ou consoles d'entraînement) avec un système de capteurs et un système d'affichage. Les capteurs permettent de déterminer le positionnement des instruments utilisés par l'opérateur par
10 rapport aux éléments de la console d'entraînement. Des données sont affichées sur un système d'affichage pour aider l'apprenant chirurgien dans ses démarches. Toutefois, aucun de ces dispositifs ne permet une immersion réelle. Les conditions du bloc opératoire ne sont pas reproduites et l'apprenant ne peut pas retrouver toutes les sensations propres à une intervention chirurgicale en bloc. Il manque, aux divulgations
15 de l'état de la technique, une composante virtuelle à la simulation, afin de se rapprocher de manière significative des conditions d'opération en bloc. La seule manière de reproduire ces conditions de manière pertinente est de plonger l'opérateur dans un monde virtuel, tout en lui permettant de manipuler des instruments chirurgicaux réels afin de le préparer au mieux, aux véritables conditions du bloc.

20 La réalité virtuelle est par ailleurs utilisée pour accompagner un(e) chirurgien(ne) au cours d'une intervention chirurgicale, comme par exemple illustré par le document WO 2017114834 (A1).

Le document WO 2017114834 (A1) divulgue une unité de commande prévue pour un système de robot chirurgical, comprenant un robot configuré pour faire fonctionner un
25 outil chirurgical sur un patient. L'unité de commande comprend un processeur configuré pour transmettre des images en direct acquises sur le patient à un dispositif de réalité virtuelle (VR) pour affichage. L'unité traite les données d'entrée reçues du dispositif VR pour déterminer une cible chez le patient et déterminer un chemin pour que l'outil chirurgical atteigne la cible sur la base des images en direct et des données d'entrée

traitées ; et pour transmettre des signaux de commande pour amener le robot à guider l'outil chirurgical vers la cible via le chemin déterminé.

Toutefois, dans un cas d'accompagnement d'un(e) chirurgien(ne) au cours d'une opération, il ne s'agit pas de recréer les conditions du bloc opératoire dans le but d'y
5 familiariser un(e) débutant(e).

Les divulgations de l'état de la technique ne permettent pas à l'utilisateur de manipuler de véritables instruments de chirurgie simultanément dans le monde physique et dans un monde virtuel reproduisant les conditions opératoires du bloc.

C'est à ces inconvénients qu'entend plus particulièrement remédier l'invention en
10 proposant un dispositif de simulation chirurgicale alliant un monde virtuel à l'utilisation d'instruments chirurgicaux réels.

RÉSUMÉ DE L'INVENTION

On parvient à réaliser cet objectif, conformément à l'invention grâce à un dispositif de
15 simulation chirurgicale, comportant :

- une unité de calcul,
- un instrument chirurgical réel, et
- un instrument chirurgical virtuel relié à l'unité de calcul,
- un système électronique comportant une carte électronique et au moins un capteur,
20 le système électronique reliant l'instrument chirurgical réel à l'unité de calcul, la carte électronique et l'au moins un capteur étant intégrés à l'instrument chirurgical réel au moyen d'au moins une pièce d'interface spécifique.

L'invention se caractérise en ce que :

- l'instrument chirurgical réel muni du système électronique présente sensiblement
25 le même poids que l'instrument chirurgical fonctionnel correspondant,
- l'instrument chirurgical réel correspond à un instrument chirurgical fonctionnel, l'instrument chirurgical fonctionnel étant destiné à être manipulé dans le cadre d'une intervention chirurgicale, l'instrument chirurgical fonctionnel comportant

- au moins un élément fonctionnel, l'instrument chirurgical réel comportant le même élément fonctionnel, l'au-moins un élément fonctionnel pouvant être activé selon au moins deux états de fonctionnement distincts,
- l'instrument chirurgical virtuel présente les mêmes caractéristiques géométriques que l'instrument chirurgical réel et présente un élément fonctionnel virtuel similaire à l'élément fonctionnel de l'instrument chirurgical réel,
 - l'élément fonctionnel virtuel de l'instrument chirurgical virtuel est apte à être activé selon les mêmes états de fonctionnement que ceux de l'élément fonctionnel de l'instrument chirurgical réel, et
 - l'état de fonctionnement de l'élément fonctionnel virtuel de l'instrument virtuel est apte à être aligné, en temps réel, sur l'état de fonctionnement de l'élément fonctionnel de l'instrument chirurgical réel.

Ainsi, cette solution permet d'atteindre l'objectif susmentionné. En particulier, le fait de munir les instruments d'au moins un capteur et de le relier à un jumeau virtuel que l'opérateur a dans son champ de vision virtuel permet d'augmenter de manière significative le réalisme de l'entraînement et de reproduire presque à l'identique les conditions d'opération dans un bloc opératoire. L'activation, par l'opérateur, des fonctionnalités mécaniques ou électroniques de l'instrument chirurgical réel déclenche une action identique dans le monde virtuel, c'est-à-dire que l'état de fonctionnement de l'instrument chirurgical réel est instantanément reproduit dans le monde virtuel par l'instrument chirurgical virtuel. Par ailleurs, ce dispositif de simulation chirurgicale permet de connecter une grande diversité d'instruments de chirurgie (mécaniques et/ou électroniques, petits et/ou grands, rigides et/ou flexibles).

Le dispositif de simulation chirurgicale selon l'invention peut comprendre une ou plusieurs des caractéristiques suivantes, prises isolément les unes des autres ou en combinaison les unes avec les autres :

- l'au moins un capteur du système électronique peut constituer un élément fonctionnel de l'instrument chirurgical réel,
- l'au moins un capteur du système électronique peut être destiné à mesurer une capacité mécanique d'un élément fonctionnel de l'instrument chirurgical réel,

- l'au moins un capteur du système électronique peut être destiné à mesurer un mouvement relatif d'un élément fonctionnel de l'instrument chirurgical réel par rapport à une position d'origine,
- l'instrument chirurgical réel muni du système électronique présente des dimensions, des formes, et un centre de masse sensiblement identiques à ceux de l'instrument chirurgical fonctionnel,
- la carte électronique, l'au moins un capteur et l'au moins une pièce d'interface spécifique peuvent être intégrés à l'outil chirurgical réel en remplacement d'au moins un composant électronique d'un ensemble de composants électroniques de l'instrument chirurgical fonctionnel,
- l'instrument chirurgical virtuel peut être apte à être visualisé par l'opérateur sur un dispositif de visualisation connecté à l'unité de calcul,
- l'instrument chirurgical réel peut être muni d'un dispositif haptique de manière à pouvoir simuler, pour l'opérateur, une interaction avec un corps prédéfini, de nature et de positionnement déterminés par l'unité de calcul,
- un équivalent virtuel du corps prédéfini peut être apte à être visualisé, par l'opérateur, sur le dispositif de visualisation,
- l'instrument chirurgical réel peut être muni d'un système de retour sonore,
- l'instrument chirurgical réel peut être muni d'un système de localisation spatiale de manière à ce que l'unité de calcul puisse déterminer, à chaque instant, positionnement de l'instrument chirurgical réel dans l'espace par rapport à une origine prédéfinie.

BRÈVE DESCRIPTION DES FIGURES

- D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront au cours de la lecture de la description détaillée qui va suivre pour la compréhension de laquelle on se reportera aux dessins annexés dans lesquels :
- **la figure 1** est une vue schématique généralisée du dispositif de simulation selon la présente invention,
 - **la figure 2** est une vue en perspective d'un premier exemple de réalisation d'un instrument chirurgical réel selon l'invention,

- **la figure 3A** est une vue en perspective d'une première pièce d'interface spécifique selon l'invention,
- **la figure 3B** est une vue en perspective de la pièce d'interface de la figure 3A intégrée à un instrument chirurgical selon l'exemple de réalisation de la figure 2,
- 5 - **la figure 4A** est une vue en perspective d'une seconde pièce d'interface spécifique selon l'invention,
- **la figure 4B** est une vue en perspective de la pièce d'interface de la figure 4A intégrée à un instrument chirurgical selon l'exemple de réalisation de la figure 2,
- **la figure 5** est une vue en perspective d'un instrument chirurgical virtuel selon
10 l'invention,
- **la figure 6A** est une vue en perspective d'un bloc opératoire virtuel au moment de commencer une opération,
- **la figure 6B** est une vue en perspective du bloc opératoire de la figure précédente pendant l'opération,
- 15 - **la figure 7A** est une illustration d'un écran virtuel du bloc opératoire virtuel des figures 6A et 6B, en cours d'opération, plus particulièrement, la figure 7A est une illustration d'un écran virtuel présent dans le bloc opératoire virtuel permettant d'accéder à une vue intérieure d'un patient virtuel
- **la figure 7B** est une illustration de l'écran virtuel de la précédente figure en fin
20 d'opération,
- **la figure 8A** est une vue en perspective d'un second exemple de réalisation d'un instrument chirurgical réel selon l'invention,
- **la figure 8B** est une vue en perspective de l'exemple de réalisation de la figure précédente, dans lequel la pièce d'interface spécifique est ouverte.

25

DESCRIPTION DÉTAILLÉE DE L'INVENTION

Dans la présente demande, le terme intégrer est utilisé selon le sens attribué par le dictionnaire comme le fait de placer quelque chose dans un ensemble de telle sorte qu'il semble lui appartenir, qu'il soit en harmonie avec les autres éléments de l'ensemble.

30 Intégrer quelque chose dans quelque chose, signifie l'y incorporer, le faire entrer dans un ensemble.

Dans la présente demande, le terme capteur désigne un dispositif transformant l'état d'une grandeur physique observée en une grandeur utilisable, telle que, par exemple, une tension électrique, une hauteur de mercure, ou la déviation d'une aiguille. On note qu'un est au minimum constitué d'un transducteur.

- 5 Comme représenté schématiquement sur la figure 1, un dispositif 10 de simulation chirurgicale selon la présente invention comporte :
- un instrument chirurgical réel (instrument chirurgical) 12 destiné à être manipulé par un opérateur,
 - une unité de calcul 14,
 - 10 - un système électronique 16 comportant une carte électronique 18 et au moins un capteur 20a, 20b, 21,
 - un instrument chirurgical virtuel 22 relié à l'unité de calcul 14.

L'instrument chirurgical réel 12 est issu d'un instrument chirurgical fonctionnel destiné à être manipulé dans le cadre d'une intervention chirurgicale. Ainsi, même si l'instrument
15 chirurgical réel 12 n'est pas fonctionnel dans le cadre d'un bloc opératoire, il reproduit sensiblement les mêmes sensations physiques qu'un instrument fonctionnel lorsqu'il est manipulé par un opérateur dans le cadre de la présente invention.

L'instrument chirurgical virtuel 22 est rendu visible à l'opérateur par projection sur un dispositif de visualisation 24.

- 20 Dans le cas présent, l'opérateur peut être un apprenant chirurgien ou chirurgienne.

Le dispositif de visualisation 24 est, par exemple, un casque de réalité virtuelle. L'opérateur enfle le casque pour réaliser la simulation chirurgicale.

Instrument chirurgical réel

- Le système électronique 16 relie l'instrument chirurgical 12 à l'unité de calcul 14. Le
25 système électronique 16 est intégré à l'instrument chirurgical 12. Le système électronique 16 peut être intégré à tout type d'instrument chirurgical 12, y compris, par exemple, des pédales d'actionnements disposées autour de machines classiquement présentes dans une salle d'opération (tel qu'un échographe, une fraiseuse ou lit), une

lampe à photopolymériser ou un bloc de gestion de vitesse de fraisage par exemple. Par ailleurs, le système électronique 16 présente des dimensions, des formes, un poids et un centre de masse transparents pour l'opérateur manipulant l'instrument chirurgical 12.

La carte électronique 18 du système électronique 16 peut par exemple être une carte de type Arduino®, Teensy®, MBed®. Cette carte électronique 18 est capable de communiquer avec ou sans fil (par exemple selon des protocoles BLE ou WIFI) avec l'unité de calcul 14. Cette unité de calcul 14 peut, par exemple, être un ordinateur distant ou un microcontrôleur comprenant une unité arithmétique et logique, une mémoire. La carte électronique 18 peut, par exemple, être alimentée par un accumulateur rechargeable (Li-Po, Ni-MH, Li-Ion...), ou par une pile. La carte électronique 18 permet également de faire un retour direct à l'opérateur sur l'état du système électronique 16 de l'instrument chirurgical 12 par un retour visuel via une LED (acronyme de l'appellation anglophone light-emitting diode se traduisant, en français, par diode électroluminescente) multicolore (par exemple pour indiquer que le dispositif 10 est allumé, que le système électronique 16 est bien connecté à l'unité de calcul 14, que le niveau de batterie est faible, que les capteurs 20a, 20b, 21 sont fonctionnels, etc.) sans avoir à démarrer une simulation.

Cette carte électronique 18 possède des entrées et des sorties digitales et analogiques pour récupérer, en temps réel, les informations des capteurs 20a, 20b, 21 intégrés à l'instrument chirurgical 12. Chaque capteur 20a, 20b, 21 recueille une information fonctionnelle propre. Comme visible sur la figure 2, tous les capteurs 20a, 20b, 21 sont intégrés à l'instruments chirurgical 12.

Dans le cas de la présente invention, le système électronique 16 comporte trois types de capteurs 20a, 20b, 21 : deux types de capteurs dit originels (un ensemble de capteurs originels primaires 20a, et un ensemble de capteurs originels secondaires 20b), et un type de capteurs dits supplémentaires 21. Les capteurs originels primaires et secondaires 20a, 20b sont des éléments présents sur l'instrument chirurgical 12 fonctionnel tel que commercialisé et utilisé par les praticiens dans un bloc opératoire. Ces capteurs originels primaires et secondaires 20a, 20b sont déconnectés de leur électronique de base découlant de leur usinage industriel et sont ensuite intégrés au système électronique 16 du dispositif de simulation chirurgical 10.

En particulier, les capteurs originels primaires et secondaires 20a, 20b constituent, chacun, un élément fonctionnel 26 de l'instrument chirurgical 12. Un élément fonctionnel 26 est un élément nécessaire au bon fonctionnement et/ou au maniement de l'instrument chirurgical 12. Chaque élément fonctionnel 26 de l'instrument chirurgical

5 réel 12 est identique à l'élément fonctionnel 26 de l'instrument chirurgical fonctionnel correspondant. Un élément fonctionnel 26 peut être mécanique ou électronique. De manière classique, chaque élément fonctionnel 26 peut être activé selon au moins deux états de fonctionnement distincts. Ceci sera explicité plus loin. Un élément fonctionnel 26 peut également être primaire 26a ou secondaire 26b. Un instrument chirurgical 12 peut

10 ainsi comprendre un ou plusieurs élément(s) fonctionnel(s) primaire(s) 26a (électronique ou mécanique) et un ou plusieurs éléments(s) fonctionnels(s) secondaire(s) (électronique ou mécanique). Un élément fonctionnel primaire 26a peut par exemple prendre la forme d'une poignée d'activation, d'un bouton, d'un levier ou d'un pavé tactile et il permet de manier, activer, et/ou contrôler, etc. l'instrument chirurgical 12. Ainsi, chaque capteur

15 originel primaire 20a formant élément fonctionnel primaire 26a, permet à l'unité de calcul 14 de récupérer une action de l'opérateur sur l'instrument chirurgical 12. L'opérateur effectue cette action au cours d'une simulation chirurgicale à des fins chirurgicales, comme par exemple, la coagulation d'un vaisseau, ou l'orientation de l'effecteur de l'instrument chirurgical 12. Chaque capteur originel secondaire 20b formant

20 élément fonctionnel secondaire 26b permet, quant à lui, de faire un retour sur l'état de fonctionnement de l'instrument chirurgical 12. Un capteur originel secondaire 20b peut, par exemple, prendre la forme d'un buzzer ou d'une LED permettant, par exemple d'indiquer à l'opérateur qu'un système de coagulation est prêt ou que l'instrument chirurgical 12 est à tel niveau de charge.

25 Indépendamment des capteurs originels 20a, 20b, les capteurs supplémentaires 21 sont ajoutés à l'instrument chirurgical 12 fonctionnel et ne sont donc pas nécessaires au bon fonctionnement/à la bonne utilisation dudit instrument 12. Chaque capteur supplémentaire 21 permet de mesurer :

- une capacité mécanique d'un élément fonctionnel primaire 26a de l'instrument

30 chirurgical réel 12, et/ou

- un mouvement relatif d'un élément fonctionnel primaire 26a de l'instrument chirurgical réel 12 par rapport à une position d'origine dudit élément fonctionnel primaire 26a,
- une orientation d'un élément fonctionnel primaire 26a par rapport à une position d'origine dudit élément fonctionnel primaire 26a,
- un champs magnétique ambiant ou interne,
- une orientation d'un élément fonctionnel primaire 26 par rapport à un autre élément fonctionnel primaire 26,
- une position relative de l'instrument chirurgical 12 dans l'espace par rapport à un référentiel défini.

Un IMU (acronyme anglais pour inertial measurement unit, se traduisant en français par « centrale inertielle ») peut, par exemple, former un capteur supplémentaire 21.

Le système électronique 16 peut être ajouté à différentes catégories d'instruments chirurgicaux 12 dans un large panel d'applications et dans toutes les spécialités chirurgicales. De manière classique, on considère deux types d'instruments chirurgicaux fonctionnels :

- les instruments chirurgicaux complexes,
- les instruments chirurgicaux mécaniques.

Les instruments chirurgicaux fonctionnels complexes peuvent être électroniques et/ou mécaniques. Ils peuvent donc présenter une large variété d'éléments fonctionnels 26 mécaniques et électroniques. Ces éléments fonctionnels 26 mécaniques peuvent prendre la forme d'actionneurs mécaniques tels que des boutons, des gâchettes, des poignées d'activation P (voir figure 2), des molettes, des variateurs d'intensité, etc. Les éléments fonctionnels 26 mécaniques sont des éléments fonctionnels primaires 26a. Ils peuvent être actionnés au moyen d'un moteur ou par action directe de l'opérateur. Un instrument chirurgical fonctionnel complexe comporte également des éléments fonctionnels 26 électroniques de type éléments fonctionnels secondaires 26b tels qu'une LED, par exemple. Lorsqu'un instrument chirurgical fonctionnel complexe est électronique, il est généralement doté d'une batterie ou est branché sur une machine externe dans le bloc opératoire pour permettre son alimentation en puissance.

La puissance électrique du système est donnée par un bloc d'alimentation 12V/3A (non représenté). Les données sont quant à elles transmises par un moyen de communication filaire (USB 2.0, Ethernet) ou par un moyen de communication non filaire (Wifi, Bluetooth, ...).

- 5 Plus précisément, le traitement du signal effectué à partir de chaque instrument chirurgical réel 12 produit un effet en temps réel dans la simulation en réalité virtuelle. Ainsi chaque instrument chirurgical virtuel 22, en tant que jumeau virtuel, bouge et réagit à l'identique par rapport à son modèle réel. Chaque instrument chirurgical réel 12 possède un identifiant unique permettant d'associer les valeurs reçues à l'instrument chirurgical
- 10 virtuel 26 correspondant, soit au bon jumeau virtuel. Chaque instrument réel 12 se connecte ainsi à la simulation (TCP, UDP, série) au moment de son allumage. Chaque instrument réel 12 envoie alors à une fréquence définie ses données à l'unité de calcul 14.

- La connexion est effectuée entre l'unité de calcul 14 et chaque instrument chirurgical réel 12 via un protocole qui peut être point à point (Unicast) ou en diffusion (Broadcast
- 15 ou Multicast par exemple). Dans tous les modes, la simulation agit en tant que serveur de données.

L'exemple de la figure 2 illustre le cas d'un cautérisateur.

- Les instruments chirurgicaux fonctionnels mécaniques ne possèdent pas d'éléments fonctionnels 26 électroniques mais uniquement des éléments fonctionnels 26
- 20 mécaniques (éléments fonctionnels primaires 26a). C'est le cas, notamment, des écarteurs chirurgicaux, des ciseaux, des pinces et des portes aiguilles ou des systèmes mécaniques plus complexes tel que le système AMIS® par Medacta dans le cadre de la pose d'une prothèse de hanche.

- Comme déjà indiqué, chaque instrument chirurgical réel 12 de la présente invention
- 25 correspond à un instrument fonctionnel et chaque élément fonctionnel 26 de l'instrument chirurgical fonctionnel correspond à un élément fonctionnel 26 de l'instrument chirurgical réel 12. Chaque élément fonctionnel 26 de l'instrument réel 12 peut être activé, exactement comme l'élément fonctionnel 26 correspondant de l'instrument fonctionnel, selon au moins deux états de fonctionnement distincts. L'ensemble des états

de fonctionnements de chacun des éléments fonctionnels 26 de l'instrument chirurgical réel 12 donne l'état de fonctionnement de l'instrument chirurgical réel 12 lui-même. Pour un instrument chirurgical 12 complexe, on peut par exemple, distinguer un état fonctionnel éteint et un état fonctionnel sous tension. L'état fonctionnel sous tension peut
5 lui-même être découpé en un état fonctionnel de repos (l'opérateur n'utilise pas l'instrument 12) et un état fonctionnel d'activation (l'opérateur active l'instrument 12). Selon les instruments chirurgicaux 12, il peut y avoir plusieurs états fonctionnels d'activation, par exemple si l'instrument chirurgical 12 présente un élément fonctionnel primaire 26a pouvant adopter plusieurs vitesses, comme par exemple la tige T de
10 l'instrument chirurgical 12 de l'exemple illustré en figure 2. Pour un instrument chirurgical 12 mécanique, on peut, par exemple, distinguer un état fonctionnel ouvert et un état fonctionnel fermé (dans le cas d'une pince, ou de ciseaux, par exemple).

En prenant l'exemple illustré en figure 2, un capteur secondaire 21 peut par exemple mesurer :

- 15 - la rotation d'une tige T de l'instrument chirurgical réel 12,
- un degré de fermeture d'une poignée d'activation P.

Notons que la tige T et la poignée d'activation P sont chacune un élément fonctionnel primaire 26a.

L'enjeu autour des capteurs est double : Pour les capteurs originels 20a, 20b l'enjeu est de
20 déconnecter l'électronique originelle pour la connecter au système électronique 16 sans altérer le fonctionnement originel du capteur 20a, 20b, et, pour les capteurs supplémentaires 21, il s'agit de les ajouter sans perturber le fonctionnement de l'outil chirurgical 12.

En plus des instruments chirurgicaux 12 complexes ou mécaniques, le système
25 électronique 16 peut s'intégrer dans un boîtier de contrôle présent dans un bloc opératoire. Il peut, par exemple, s'agir d'un boîtier de gestion de la lumière froide pour les caméras endoscopiques ou les panneaux de contrôle d'une machine à anesthésie. Il est ainsi possible de récupérer les actions d'un utilisateur externe à la simulation mais présent aux côtés de l'opérateur pour reproduire ses actions dans la simulation. Par exemple, dans le

cas de l'utilisation d'une caméra endoscopique dans la cadre d'une simulation chirurgicale, il devient possible de demander à un(e) assistant(e) de régler l'intensité de la lumière d'une caméra endoscopique pendant que l'opérateur réalise la simulation chirurgicale. Pour pouvoir faire ça, il faut pouvoir connaître le degré de lumière envoyé
5 par la caméra endoscopique et connecter le bloc de lumière à la simulation. Ce même type de situation se retrouve dans une simulation au cours on injecte classiquement du CO₂ dans la paroi abdominale d'un patient avant l'introduction des outils : en effet, en connectant l'injecteur de CO₂ au système électronique 16, il devient possible d'assurer la gestion de flux le long de l'opération et on peut habituer l'opérateur à régulièrement
10 vérifier le niveau de pression, par exemple.

La notion d'instrument chirurgical 12 complexe couvre certains robots opératoires tels que, par exemple, une console de manipulation de plateforme d'assistance robotique auxquelles les praticien(ne)s ont de plus en plus recours.

Dans l'exemple illustré en figures 2 et 3B, la rotation de la tige T de l'instrument
15 chirurgical 12 est transmise via un capteur secondaire 21 prenant la forme d'un encodeur 28 à rotation infinie. De manière générale, on appelle encodeur un composant matériel ou logiciel transformant une information en un code. Un encodeur à rotation comporte classiquement une source lumineuse, un disque troué à intervalles réguliers tournant autour d'un axe et un capteur optique. A chaque fois que la lumière passe dans
20 un des trous du disque, un signal électrique est envoyé. En récupérant le signal qui passe par chaque disque, on peut savoir dans quel sens l'axe tourne et de combien de degré. Plus le disque possède de trous, plus il y a de précision sur l'angle. Dans le cas présent, l'axe 281 de l'encodeur 28 est couplé à la tige T de l'instrument chirurgical 12. Ainsi, quand la tige T est activée (donc qu'elle est mise en rotation), elle entraîne l'axe de
25 l'encodeur 28. Cet axe 281 entraîne le disque 282 troué qui donne l'information de l'angle de rotation de la tige T.

Dans l'exemple illustré en figures 2 et 4B, le degré de fermeture de la poignée d'activation P est, quant à lui, transmis par un capteur secondaire 21 pouvant, par exemple, prendre la forme d'une résistance variable (potentiomètre) 29 rotative ou à glissière ou d'un capteur
30 d'effort. De manière générale, on appelle potentiomètre un type de résistance variable à

trois bornes, dont l'une est reliée à un curseur se déplaçant sur un bloc de résistance variable terminé par les deux autres bornes. Ce système permet de recueillir, entre la borne reliée au curseur et une des deux autres bornes, une tension qui dépend de la position du curseur et de la tension à laquelle est soumise le bloc de résistance variable, les deux bornes correspondant aux valeurs maximum et minimum du bloc de résistance variable. Dans le cas présent, le curseur 291 du potentiomètre linéaire 29 est couplé à la poignée d'activation P. Ainsi :

- quand la poignée d'activation P est actionnée, le curseur 291 du potentiomètre 29 est, le long du bloc de résistance variable 292, déplacé dans un sens d'actionnement et ce déplacement fait varier la résistance du potentiomètre 29 dans ce sens,
- quand la poignée d'activation P est relâchée, un ressort intégré dans l'instrument chirurgical réel 12 repousse la poignée d'activation P vers son état d'origine (ouvert) et le curseur 291 du potentiomètre est, le long du bloc de résistance variable 292, entraîné dans l'autre sens.

On peut ainsi connaître les valeurs minimum et maximum atteignables quand la poignée d'activation P est ouverte ou fermée et, par un produit en croix on accède au pourcentage d'ouverture ou de fermeture de ladite poignée d'activation P.

On peut voir sur les figures 2, 3B et 4B que la carte électronique 18 et les capteurs 20a, 20b, 21 sont intégrés à l'instrument chirurgical 12 au moyen d'au moins une pièce d'interface spécifique 30. Chaque pièce d'interface spécifique 30 est obtenue par impression 3D.

Dans le cas de l'exemple illustré en figures 2, 3A et 3B, la jonction entre l'encodeur 28 et la tige T de l'instrument chirurgical 12 est permise par une pièce d'interface spécifique 30. Cette pièce d'interface spécifique 30 est illustrée en figure 3A. La pièce d'interface spécifique 30 de la figure 3A est en deux parties : une première partie 301 destinée à être collée sur la tige T de l'instrument chirurgical 12, et une deuxième partie 302 destinée à être collée sur l'axe de l'encodeur 28. Un système de détrompeur permet l'entraînement de l'axe de l'encodeur 28 par la tige T. Le dimensionnement et la géométrie particulières de la pièce d'interface spécifique 30 liée à l'encodeur 28 permet

ainsi d'assurer l'entraînement de l'encodeur 28 par la tige T de l'instrument chirurgical 12 sans gêner la course de la tige T lors du fonctionnement de l'instrument chirurgical 12.

Dans le cas de l'exemple illustré en figures 2, 4A et 4B, l'accouplement entre la poignée d'activation P de l'instrument chirurgical 12 et le potentiomètre 29 est également garanti
5 par une autre pièce d'interface spécifique 30. Comme précédemment, cette pièce d'interface spécifique 30 comporte deux parties : une première partie 301 formant fourreau et destinée à être collée autour curseur du potentiomètre 29, et une deuxième partie 302 formant arceau et passant autour de la poignée P. Les première et deuxième parties 301, 302 de la pièce d'interface spécifique 30 sont reliées entre elles de manière à
10 pouvoir pivoter l'une par rapport à l'autre selon un degré de liberté. Le potentiomètre 29 est monté de manière fixe dans l'instrument chirurgical 12. La première partie 301 est montée fixe sur l'axe du potentiomètre 29, lui-même coulissant par rapport au corps du potentiomètre. La deuxième partie 302 suit les mouvements de la poignée d'activation P lorsque celle-ci est actionnée par l'opérateur et transmet alors ces mouvements à la
15 première partie 301 qui les transmet au curseur du potentiomètre 29. L'information est ensuite envoyée à l'unité de calcul 14.

Chaque capteur supplémentaire 21 est ajouté à l'instrument chirurgical 12, de manière transparente pour l'opérateur par rapport à l'instrument chirurgical fonctionnel. De manière générale, l'ajout de l'ensemble des capteurs 20a, 20b, 21 et de la carte
20 électronique 18 du système électronique 16 ainsi que chacune des pièces d'interface spécifiques ne modifie sensiblement ni la course mécanique ni la force nécessaire à l'actionnement mécanique du/des élément(s) fonctionnel(s) primaire(s) 26a et/ou secondaire(s) 26b de l'instrument chirurgical 12 par rapport à celles de l'instrument chirurgical fonctionnel. Les propriétés physiques de l'instrument chirurgical 12
25 (dimensions, des formes, et un centre de masse, etc.) demeurent, après intégration du système électronique 16, sensiblement identiques à celles de l'instrument chirurgical fonctionnel obtenues en sortie d'usine. L'enjeu, pour chaque instrument chirurgical 12, est ainsi d'ajouter le système de mesure du système électronique 16 de manière sensiblement transparente pour l'opérateur de manière à conserver tous les degrés de
30 liberté de l'instrument chirurgical fonctionnel. En effet, la carte électronique 18, chaque

- capteur 20a, 20b, 21 et chaque pièce d'interface spécifique 30 sont intégrés à l'outil chirurgical réel 12 en remplacement d'au moins un composant électronique d'un ensemble de composants électroniques de l'instrument chirurgical fonctionnel. Dans l'exemple illustré en figures 8A, 8B, la pièce d'interface spécifique 30 est intégrée à
- 5 l'outil chirurgical réel 12 par accolement à une extrémité de l'instrument chirurgical 12. Cet accolement est réalisé de manière à ne pas modifier les paramètres de manipulation de l'outil chirurgical 12. Ainsi, dans l'exemple représenté en figures 8A et 8B, la pièce d'interface spécifique 30 est fixée dans la continuité de l'axe du moteur de l'outil chirurgical réel 12. La masse finale de l'outil chirurgical réel 12 est maintenue
- 10 sensiblement identique à celle de l'outil chirurgical fonctionnel car la carte électronique 18, chaque capteur 20a, 20b, 21 et la pièce d'interface spécifique 30 sont intégrés à l'outil chirurgical réel 12 en remplacement d'au moins un composant électronique d'un ensemble de composants électroniques de l'instrument chirurgical fonctionnel, même s'ils ne sont pas intégrés à l'endroit où ces composants électroniques.
- 15 La pièce d'interface spécifique 30, la carte électronique 18, les capteurs 20a, 20b, 21 sont intégrés à l'outil chirurgical réel 12 par accolement et forment une même pièce technique. Ainsi, chaque modification de masse induite par l'ajout d'un composant du système électronique 16 du système 10 est compensé par le retrait d'un composant électronique (par exemple une batterie) initialement présent dans l'instrument chirurgical fonctionnel.
- 20 L'instrument chirurgical réel 12 peut être muni d'un retour sonore S. Ce retour sonore, similaire à ce qui existe dans le domaine automobile pour aider un utilisateur à se garer, permet de donner une indication de l'espace disponible autour de l'instrument chirurgical réel 12 voire même une information sur la position d'une extrémité de l'instrument chirurgical réel 12 dans l'espace et permet d'aider l'opérateur, en début d'apprentissage,
- 25 à percevoir la profondeur de l'espace de travail. Ce retour sonore S donne la distance entre la pointe de l'instrument et la cible chirurgicale Ce type de retour permet d'envoyer des informations supplémentaires à l'utilisateur sans surcharger son espace visuel pour lui permettre de se concentrer sur sa tâche.
- L'instrument chirurgical réel 12 peut être, par ailleurs, muni d'un système de localisation
- 30 spatial L, de manière à ce que l'unité de calcul 14 puisse déterminer, à chaque instant, le

positionnement de l'instrument chirurgical réel 12 dans l'espace par rapport à une origine prédéfinie.

L'instrument chirurgical réel 12 peut également être muni d'un dispositif haptique H de manière à pouvoir simuler, pour l'opérateur, une interaction avec un corps prédéfini. Ce
5 dispositif haptique H sera détaillé plus amplement un peu plus bas. L'instrument chirurgical réel 12 peut, en complément du dispositif haptique H être muni d'un dispositif sensoriel global, de manière à pouvoir émettre, en réponse à un signal extérieur prédéfini, un son, une lumière ou une odeur spécifique.

L'ensemble des systèmes ajoutés à l'instrument chirurgical réel 12 i.e. le système
10 électronique 16 intégré, le système haptique H, le système de sonar S et le système de localisation spatial L, est transparent pour l'opérateur : l'instrument chirurgical réel 12 ne perd pas en fonctionnalités malgré l'intégration de tous ces systèmes et le centre de masse de l'instrument chirurgical réel 12 n'est pas modifié.

L'instrument chirurgical virtuel

15 Comme déjà mentionné, chaque instrument chirurgical réel 12 de la présente invention est destiné à être manipulé par un opérateur et peut être activé selon au moins deux états de fonctionnement distincts. Par ailleurs, chaque instrument chirurgical réel 12 présente des caractéristiques géométriques propres. Dans le dispositif de simulation chirurgicale 10 de la présente invention, à chaque instrument chirurgical réel 12,
20 correspond un instrument chirurgical virtuel 22 (voir figure 5) présentant les mêmes caractéristiques géométriques que celles de l'instrument chirurgical réel 12 correspondant. Il s'agit d'un jumeau virtuel 22 de l'instrument chirurgical réel 12. Chaque instrument chirurgical virtuel 22 peut être activé selon les mêmes états de fonctionnement que l'instrument chirurgical réel 12 correspondant, et l'état de fonctionnement de
25 l'instrument virtuel 22 s'aligne, en temps réel, sur l'état de fonctionnement de l'instrument chirurgical réel 12 correspondant.

Sur l'exemple de la figure 5, l'instrument chirurgical virtuel 22 est un cautérisateur, jumeau du cautérisateur illustré en figure 2. Tout en manipulant le ou les instrument(s) chirurgical(aux) réel(s) 12, l'opérateur visualise chaque l'instrument chirurgical virtuel 22

sur le dispositif de visualisation 24 connecté à l'unité de calcul 14. En plus de visualiser chaque instrument chirurgical virtuel 22 (dans le cas de la figure 6A, un cautérisateur et trois trocars t1, t2, t3), l'opérateur peut visualiser l'intégralité d'un bloc opératoire virtuel 32 (voir figure 6B) et même, un patient virtuel 34 sur lequel il doit effectuer une
5 simulation de chirurgie. Le bloc opératoire virtuel 32 et le patient virtuels 34 sont enregistrés dans l'unité de calcul 14 et rendus visibles à l'opérateur par celui-ci.

Dans l'exemple illustré aux figures 6A à 8B, la simulation de chirurgie concerne une correction de scoliose par voie thoracique. De manière classique et connue en soi, cette chirurgie est une chirurgie mini-invasive et l'opérateur s'oriente grâce à une image
10 générée par une caméra introduite dans le corps du patient au moyen d'un ou plusieurs trocart(s). Ce(s) trocart(s) servent aussi, dans le cas présent, à guider l'outil chirurgical réel 12 vers l'organe à opérer (ici, la colonne vertébrale) affichée sur un écran. Dans le cas d'une simulation chirurgicale, l'opérateur agit, au moyen de l'outil chirurgical virtuel 22 sur l'organe à opérer virtuel 36. Dans le cas précis de l'exemple de
15 simulation chirurgicale mini-invasive illustré aux figures 6A à 8B, l'opérateur aperçoit, sur un écran virtuel 38, une image 36' de l'organe à opérer virtuel 36 (la colonne vertébrale virtuelle). Cet écran virtuel 38 fait partie du bloc opératoire virtuel 32. Comme visible sur la figure 8A, l'opérateur aperçoit également, sur l'écran virtuel 38, une image 22' de l'outil chirurgical virtuel 22. La simulation chirurgicale immerge donc
20 l'opérateur dans les conditions réelles d'un bloc opératoire.

Cette 'immersion produite par la réalité virtuelle combinée en temps réel avec l'instrumentation réelle issus de véritables instruments de chirurgie, accélère les effets bénéfiques sur l'entraînement de la mémoire auditive, visuelle et kinesthésique de la
25 personne en apprentissage. (l'utilisateur). Par cet entraînement, l'utilisateur va, premièrement, mémoriser, activement le geste et les actions à réaliser pour la procédure simulée. Et d'autre part, passivement les interactions entre ses différents sens vont créer des automatismes transférables en contexte réel.

Ainsi, chacun des capteurs originels 20a, 20b ou supplémentaires 21 ajoutés à l'instrument chirurgical fonctionnel pour mesurer un degré de rotation, une longueur de
30 course, un pourcentage de fermeture, une vitesse, un taux de charge de batterie, ou une

pression, et permettre de reproduire ces mêmes grandeurs sur l'instrument chirurgical virtuel 22. Chaque capteur étant relié à la carte électronique 18, elle-même reliée à l'unité de calcul 14, l'unité de calcul 14 peut donc, en temps réel, reproduire le fonctionnement mécanique de chaque instrument chirurgical réel 12 au cours de la simulation.

- 5 Par ailleurs, l'instrument chirurgical réel 12 peut être muni d'un dispositif haptique de manière à pouvoir simuler, pour l'opérateur, une interaction avec un corps prédéfini. Ce corps prédéfini est un corps virtuel qui présente une nature virtuelle et un positionnement virtuels déterminés par l'unité de calcul 14. L'opérateur visualise, par le dispositif de visualisation 24, un équivalent virtuel du corps prédéfini formant objet anatomique
- 10 virtuel 40. Dans le cas présent, vu qu'il s'agit d'une chirurgie mini-invasive, l'opérateur aperçoit, une image 40' de chaque objet anatomique 40 entourant l'organe à opérer virtuel 36. Sur la figure 6A, on peut apercevoir des côtes, sur les figures 7A, 7B, on aperçoit une image d'un poumon.

- Chaque corps prédéfini simule donc un objet anatomique virtuel 40 dans la réalité
- 15 virtuelle. Comme déjà indiqué, cet objet anatomique virtuel 40 peut être un poumon, un foie, un muscle, un os, etc. Le retour haptique H intégré à l'instrument chirurgical 12 (complexe ou mécanique) permet de maximiser le réalisme de la simulation chirurgicale en procurant, à l'opérateur, des sensations de retour de forces. A l'aide d'un système à câbles ou d'une technologie vibratoire (par exemple un moteur à masse tournante
- 20 excentrique (ERM), ou un moteur piézo-électrique, etc.), la palpation ou la collision de l'instrument chirurgical réel 12 (ou de l'instrument chirurgical virtuel 22) avec un objet anatomique virtuel 40 dans la réalité virtuelle peut être ressentie. L'opérateur peut également ressentir la force de tirage d'un fil de suture, par exemple. Dans le cas où l'instrument chirurgical réel 12 est muni d'un dispositif sensoriel global, le son, la lumière
- 25 et/ou l'odeur émis en réponse au signal extérieur permet d'intensifier encore davantage l'expérience immersive.

- Ainsi, le système électronique 16 intégré à l'instrument chirurgical réel 12 permet de transmettre, en temps réel, les informations sur l'état de l'instrument chirurgical réel 12 vers son jumeau virtuel 22. Comme l'instrument chirurgical réel 12, l'instrument
- 30 chirurgical virtuel 22 présente au moins un élément fonctionnel virtuel 42 (voir figure 5).

Cet élément fonctionnel virtuel 42 est un jumeau de l'élément fonctionnel réel 26 correspondant. Ainsi, l'état de fonctionnement de l'élément fonctionnel virtuel 42 de l'instrument virtuel 22 est aligné, en temps réel, sur l'état de fonctionnement de chaque élément fonctionnel 26 de l'instrument chirurgical réel 12. Pour garantir la performance
5 de l'expérience immersive, l'alignement de l'état fonctionnel des instruments chirurgicaux réels 12 et virtuels 22 correspondants (ou de leurs éléments fonctionnels 26, 42 correspondants) s'effectue sans délai apparent pour l'opérateur. Le système électronique intégré 16 est en mesure de suivre l'évolution des états fonctionnels de l'instrument chirurgical réel 12 selon l'intégralité des fonctionnalités de celui-ci, en
10 respectant l'ergonomie et les caractéristiques géométriques de celui-ci, et d'être suffisamment miniaturisé pour ne pas alourdir le poids de l'instrument chirurgical réel 12 e manière à ne pas gêner l'opérateur pendant la simulation chirurgicale.

On constate le dispositif 10 de simulation chirurgicale selon la présente invention permet à un opérateur de manipuler simultanément dans le monde physique et dans le monde
15 virtuel de véritables instruments chirurgicaux réels 12. Ainsi, chaque instrument chirurgical réel 12 utilisé dans le cadre des étapes opératoires d'une procédure chirurgicale est connecté en temps réel à une réalité virtuelle comportant un instrument chirurgical virtuel 22 correspondant à chaque instrument chirurgical réel 12.

La technologie développée par la présente invention offre ainsi un recalage parfait entre
20 le monde virtuel et le monde réel sans quoi les compétences acquises en simulation seront insuffisantes et approximatives.