

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international



(10) Numéro de publication internationale
WO 2023/227613 A1

(43) Date de la publication internationale
30 novembre 2023 (30.11.2023)

(51) Classification internationale des brevets :

G06T 7/00 (2017.01) G06T 1/00 (2006.01)
A61B 1/24 (2006.01) A61B 1/32 (2006.01)
G06T 17/00 (2006.01)

(71) Déposant : DENTAL MONITORING [FR/FR] ; 75 rue de Tocqueville, 75017 PARIS (FR).

(72) Inventeurs : PELLISSARD, Thomas ; 75 rue de Tocqueville, 75017 PARIS (FR). GHYSELINCK, Guillaume ; 41 rue d'Arleux, 59169 CANTIN (FR).

(21) Numéro de la demande internationale :

PCT/EP2023/063808

(74) Mandataire : CABINET NONY ; 11 rue Saint-Georges, 75009 PARIS (FR).

(22) Date de dépôt international :

23 mai 2023 (23.05.2023)

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO,

(25) Langue de dépôt :

français

(26) Langue de publication :

français

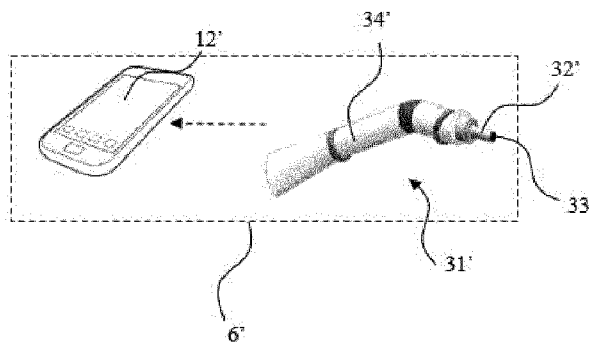
(30) Données relatives à la priorité :

PCT/EP2022/064127
24 mai 2022 (24.05.2022) EP
FR2206233 23 juin 2022 (23.06.2022) FR

(54) Title: METHOD FOR ACQUIRING A MODEL OF A DENTAL ARCH

(54) Titre : PROCEDE D'ACQUISITION D'UN MODELE D'UNE ARCADE DENTAIRE

[Fig 12]



(57) Abstract: The invention relates to a method for acquiring at least one image of at least one dental arch of a user (U) by means of a mobile telephone (12') and an acquisition tool (31') having an acquisition head (32') provided with a camera (33'), in which method the acquisition head: - acquires the image and transmits the image to the mobile telephone, or - acquires a signal and transfers the signal to the mobile telephone in order that the mobile telephone generates the image from the signal, autonomously or with the aid of a computer with which the mobile telephone is in communication, the method including, after the acquisition step, an analysis of the image so as to define the dental situation of the user and/or to check the proper implementation of an ongoing active or passive orthodontic treatment.

(57) Abrégé : Procédé d'acquisition d'au moins une image d'au moins une arcade dentaire d'un utilisateur (U) au moyen d'un téléphone portable (12') et d'un outil d'acquisition (31') comportant une tête d'acquisition (32') pourvue d'une caméra (33'), procédé dans lequel la tête d'acquisition : - acquiert ladite image et la transmet au téléphone portable, ou - acquiert un signal et le transfère au téléphone portable pour que ledit téléphone portable génère l'image à partir dudit signal, en autonomie ou avec l'aide d'un ordinateur avec lequel



WO 2023/227613 A1

RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH,
TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS,
ZA, ZM, ZW.

- (84) **États désignés** (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible*) : ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), curasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée:

- avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))
- en noir et blanc ; la demande internationale telle que déposée était en couleur ou en échelle de gris et est disponible sur PATENTSCOPE pour téléchargement.

ledit téléphone portable est en communication, le procédé comportant, après ladite acquisition, une analyse de ladite image afin de définir la situation dentaire de l'utilisateur et/ou pour vérifier le bon déroulement d'un traitement orthodontique actif ou passif en cours.

Description

Titre : PROCEDE D'ACQUISITION D'UN MODELE D'UNE ARCADE DENTAIRE

Domaine technique

La présente invention concerne un procédé d'acquisition d'un modèle d'une arcade dentaire
5 d'un utilisateur et un programme informatique pour la mise en œuvre de ce procédé.

Etat de la technique

Il est souhaitable que chacun fasse régulièrement contrôler sa dentition, notamment afin de vérifier que la position et/ou la forme et/ou l'aspect (ou « texture ») de ses dents n'évolue pas défavorablement.

10 Lors d'un traitement orthodontique, cette évolution défavorable peut notamment conduire à modifier le traitement. Après un traitement orthodontique, cette évolution défavorable, appelée « récédive », peut conduire à une reprise d'un traitement. Enfin, de manière plus générale et indépendamment de tout traitement, chacun peut souhaiter suivre les déplacements éventuels et/ou le changement de forme et/ou d'aspect de ses dents.

15 Classiquement, les contrôles sont effectués par un orthodontiste ou un dentiste qui seuls disposent d'un appareillage adapté. Ces contrôles sont donc coûteux. En outre, les visites sont contraignantes. Enfin, les scanners professionnels disponibles sont précis, mais requièrent une compétence particulière. Ils sont classiquement utilisés sur le patient, pour une acquisition intraorale, ou sur un moulage des arcades du patient, pour une acquisition
20 extraorale.

Par ailleurs, US 15/522,520 décrit un procédé qui permet, à partir d'une simple photographie des dents prise par l'utilisateur à un instant actualisé, d'évaluer avec précision le déplacement et/ou la déformation des dents depuis un instant initial. A cet effet, on réalise, à l'instant initial, un modèle tridimensionnel numérique d'une arcade dentaire de
25 l'utilisateur, de préférence avec un scanner professionnel. Ce modèle initial est ensuite découpé de manière à définir un modèle de dent pour chaque dent. Enfin, les modèles de dent sont déplacés de manière à transformer le modèle initial de l'arcade dentaire pour qu'il corresponde le mieux possible à la photographie. Ce procédé permet d'obtenir un modèle représentant l'arcade à l'instant actualisé avec une excellente précision, sans que l'utilisateur

ait à se déplacer pour un scan de ses dents. Ce modèle peut ensuite être comparé au modèle initial pour contrôler le positionnement et/ou la forme de dents de l'utilisateur.

Ce procédé est pratique pour l'utilisateur, mais nécessite au moins un rendez-vous pour acquérir le modèle de l'arcade initial. Il nécessite ensuite un traitement informatique lourd
5 pour découper le modèle initial, puis le déformer.

Il existe donc un besoin pour un procédé permettant un suivi de la situation dentaire d'un utilisateur à distance, comme décrit dans US 15/522,520, mais qui soit encore plus pratique pour l'utilisateur et plus rapide à mettre en œuvre.

Un objectif de la présente invention est de répondre, au moins partiellement, à ce problème.

10 **Résumé de l'invention**

L'invention fournit un procédé d'acquisition d'un modèle d'au moins une arcade dentaire d'un utilisateur, ledit procédé comportant les étapes suivantes :

a) à un instant actualisé, acquisition, de préférence extraorale, avec un scanner portable, par l'utilisateur, d'un modèle tridimensionnel numérique de ladite arcade, ou « modèle
15 acquis », et optionnellement découpage du modèle de l'arcade de manière à isoler une partie du modèle de l'arcade, de préférence un modèle de dent, de manière à obtenir un « modèle actualisé », le modèle actualisé pouvant ainsi être le modèle acquis ou la partie du modèle acquis isolée par découpage, l'objet représenté par le modèle actualisé étant appelé « objet actualisé ».

20 Comme on le verra plus en détail dans la suite de la description, les inventeurs ont découvert qu'il est possible d'utiliser un scanner portable pour réaliser, de préférence de manière extraorale et sans précaution particulière, un modèle d'une arcade ou d'une dent présentant une qualité suffisante pour être exploitée en orthodontie. Un tel procédé semblait incompatible avec l'acquisition d'un modèle suffisamment complet et précis.

25 Avantageusement, l'acquisition peut être réalisée par l'utilisateur lui-même, ce qui ouvre un large champ d'applications. En particulier, l'acquisition ne nécessite plus un déplacement chez un professionnel de soins dentaires. En outre, un procédé selon l'invention permet une analyse de la situation dentaire de l'utilisateur de manière plus rapide que suivant les procédés de l'art antérieur. Notamment, aucune construction d'un modèle d'arcade à partir
30 de photos n'est requis.

De manière générale, les modèles 3D d'arcades dentaires sont classiquement acquis de manière intra-orale, avec un scanner optique 3D, une acquisition intra-orale permettant au capteur d'être très proche de l'arcade, et donc de fournir une information de grande précision.

5 Les dispositifs d'acquisition extraorale (ou « extrabuccale »), c'est-à-dire dans lesquels le capteur d'acquisition, en particulier le capteur d'une caméra ou d'un appareil photo, n'est pas introduit dans la bouche de l'utilisateur, sont récents et utilisent des photos pour déformer un modèle initial obtenu avec un scanner optique 3D conventionnel. Le traitement informatique nécessaire à cette déformation est coûteux.

10 C'est le mérite des inventeurs d'avoir testé un scanner portable, de préférence extraoral, en particulier un télédéetecteur par laser, et d'avoir découvert qu'un tel scanner permet au patient d'acquérir lui-même un modèle de ses arcades dentaires de bonne qualité. Avantageusement, aucun modèle initial, par exemple acquis en début d'un traitement orthodontique, n'a besoin d'être acquis, puis être déformé à partir des images acquises par le scanner. Le traitement des images acquises par le scanner permet en effet, suivant les techniques utilisées
15 classiquement pour les scanners optiques 3D, d'obtenir directement un modèle de l'arcade dentaire.

Dans un mode de réalisation avantageux, le scanner portable est de faible précision. Il suffit en effet de relever la position spatiale de quelques points remarquables de l'arcade pour constituer un modèle actualisé. Avantageusement, l'acquisition d'un modèle peu précis est
20 possible avec des moyens techniques limités et portables. Un modèle peu précis nécessite également peu de mémoire pour être stocké. Il peut facilement et rapidement être transmis à distance, par exemple par ondes hertziennes.

De préférence, le scanner portable

- est intégré dans un téléphone portable pour une dite acquisition extraorale, ou
- 25 - comporte un téléphone portable et un outil d'acquisition comportant une tête d'acquisition apte à être introduite dans la bouche de l'utilisateur, qui
 - acquiert le modèle acquis, de préférence au moyen d'un télédéetecteur par laser, et le transmet au téléphone portable, ou
 - acquiert un signal et le transfère au téléphone portable pour que ledit téléphone
30 portable génère le modèle acquis à partir dudit signal, en autonomie ou avec l'aide d'un ordinateur avec lequel ledit téléphone portable est en communication.

De préférence, le téléphone portable transmet le modèle acquis et/ou le modèle actualisé à un professionnel de soins dentaires, de préférence par voie hertzienne, de préférence à une distance supérieure à 100 m, ou supérieure à 1 km, ou supérieure à 10 km et/ou inférieure à 50 000 km de l'utilisateur.

- 5 Un procédé d'analyse selon l'invention peut encore comporter une ou plusieurs des caractéristiques optionnelles suivantes :
- à l'étape a), on traite informatiquement le modèle actualisé pour le corriger, la correction pouvant comporter une modification du modèle actualisé ou un remplacement du modèle actualisé par un modèle de correction ;
 - 10 – à l'étape a), on compare le modèle actualisé avec un modèle de correction de manière à obtenir une mesure d'une différence de forme entre le modèle actualisé et le modèle de correction, puis
 - on modifie le modèle actualisé de manière à réduire ladite différence de forme, de préférence de manière à minimiser ladite différence de forme, de préférence au moyen
 - 15 d'une méthode métaheuristique, en particulier choisie parmi les méthodes listées ci-dessous, de préférence par recuit simulé, ou
 - en fonction de ladite mesure, on laisse le module actualisé inchangé ou remplace le modèle actualisé par le modèle de correction ;
 - à l'étape a), on soumet le modèle actualisé à un réseau de neurones entraîné pour
 - 20 rendre plus réaliste un modèle tridimensionnel numérique qu'on lui présente en entrée ;
 - l'objet actualisé est ladite arcade de l'utilisateur ou une dent de ladite arcade ;
 - le modèle de correction est un modèle
 - obtenu, à un instant différent de l'instant actualisé, par un scan dudit objet actualisé,
 - 25 ou
 - représentant ledit objet actualisé avec une forme théorique, de préférence résultant d'une simulation, ou
 - un modèle d'un objet représentatif d'un ensemble d'individus, ledit objet étant du même type que l'objet actualisé, de préférence une arcade ou une dent, par exemple un
 - 30 typodont ou une dent issue d'un typodont ;

- le modèle de correction est :
 - un modèle de l'objet actualisé obtenu par un scan, de préférence avec le scanner portable ou avec un scanner professionnel, de préférence à un instant antérieur de plus de 2 semaines, 4 semaines, 6 semaines, 2 mois, 3 mois et/ou de moins de 12 mois, ou de moins de 6 mois à l'instant actualisé, ou
 - un modèle de l'objet actualisé, qui simule la forme dudit objet actualisé telle qu'anticipée pour l'instant actualisé et qui, de préférence, a été réalisé à un instant antérieur de plus de 2 semaines, 4 semaines, 6 semaines, 2 mois, 3 mois et/ou de moins de 6 mois à l'instant actualisé, ou
 - un modèle de l'objet actualisé, qui simule la forme dudit objet actualisé telle qu'anticipée pour un instant « de correction », postérieur ou antérieur à l'instant actualisé, l'intervalle temporel entre les instants actualisé et de correction étant de préférence supérieur à une semaine, de préférence supérieur à 2 semaines, à 4 semaines, à 6 semaines, à 2 mois et/ou inférieur à 6 mois, ledit modèle ayant de préférence été réalisé plus de 2 semaines, plus de 4 semaines, plus de 6 semaines, plus de 2 mois ou plus de 3 mois avant l'instant actualisé, ou
 - un modèle historique choisi dans une bibliothèque historique comportant plus de 1 000 modèles historiques représentant des objets du même type que le modèle actualisé, ledit choix étant de préférence guidé de manière que le modèle historique choisi soit le modèle historique présentant la plus grande proximité de forme avec le modèle actualisé, ou
 - un modèle obtenu par traitement statistique des modèles historiques de ladite bibliothèque historique, de préférence de manière que le modèle obtenu par traitement statistique soit représentatif d'une population d'individus ;
- la bibliothèque historique ne comporte que des modèles historiques respectant le même critère de classification que le modèle actualisé, par exemple relatifs à des individus présentant au moins une caractéristique commune avec l'utilisateur, par exemple le même âge et/ou le même sexe et/ou la même pathologie et/ou suivant le même traitement orthodontique ou un traitement orthodontique similaire ;
- à l'étape a), on corrige le modèle actualisé en entrant le modèle actualisé à l'entrée d'un réseau de neurones entraîné pour corriger des modèles, de préférence choisi parmi les réseaux de neurones listés dans la description détaillée de l'étape iv) ci-dessous ; et/ou

- à l'étape a), on corrige le modèle actualisé en suivant les étapes suivantes :
 - i) création d'une bibliothèque historique comportant plus de 1 000, de préférence plus de 5 000, de préférence plus de 10 000 modèles historiques, chaque modèle historique modélisant un objet du même type que l'objet actualisé, par exemple modélisant une arcade ou une dent si le modèle actualisé modélise une arcade ou une dent, respectivement, et attribution à chaque modèle historique, d'une valeur pour un critère de classification ;
 - ii) analyse du modèle actualisé, de manière à déterminer la valeur dudit critère de classification pour l'objet actualisé ;
 - iii) recherche, dans la bibliothèque historique, d'un modèle historique ayant la même valeur pour ledit critère de classification et présentant une proximité maximale avec ledit modèle actualisé, ou « modèle optimal » ;
 - iv) modification du modèle actualisé à partir d'informations relatives au modèle optimal, la modification pouvant comporter un remplacement du modèle actualisé par le modèle optimal ;
- à l'étape a), on procède à un découpage du modèle acquis de manière à définir une pluralité de modèles de dents, puis pour chaque modèle de dent considéré comme modèle actualisé, on réalise un cycle d'étapes i) à iv) dans lequel le modèle optimal déterminé à l'étape iv) est disposé de manière à remplacer, dans le modèle acquis, ledit modèle de dent, ce qui, avantageusement permet de reconstituer un modèle d'arcade de haute précision à partir d'un modèle acquis de faible précision ;
- à l'étape a), on corrige le modèle actualisé en suivant les étapes suivantes :
 - i') définition de :
 - une première zone certaine constituée des points du modèle actualisé représentant un partie du patient, par exemple une dent, avec une précision supérieure à 90%, de préférence supérieure à 95%, de préférence supérieure à 99% ou « premiers points certains », et
 - une première zone incertaine, constituant le complément à 100% du modèle actualisé ;
 - ii') extrapolation de la première zone certaine, à partir de la seule première zone certaine, pour définir, dans la région de la première zone incertaine, une première zone reconstituée, puis définition de :

- une deuxième zone certaine constituée des points de la première zone incertaine écartés de la première zone reconstituée d'une distance inférieure à une distance de seuil, ou « deuxièmes points certains » ; et
 - une deuxième zone incertaine, constituant le complément à 100% de la première zone incertaine ;
- 5
- iii') extrapolation de l'ensemble constituée des première et deuxième zones certaines, à partir du seul ensemble, pour définir, dans la région de la deuxième zone incertaine, une deuxième zone reconstituée, puis
- remplacement de la deuxième zone incertaine par la deuxième zone reconstituée, de
- 10 manière à obtenir un modèle actualisé nettoyé ;
- à l'étape a), on corrige le modèle actualisé en soumettant le modèle actualisé à un réseau de neurones entraîné en lui fournissant en entrée des modèles bruts d'objets du même type que l'objet actualisé, et en sortie lesdits modèles bruts rendus hyperréalistes ;
- 15
- à l'étape a), on traite informatiquement le modèle actualisé pour le simplifier ;
 - le scanner portable est intégré dans un téléphone portable ou comporte un téléphone portable et un outil d'acquisition comportant une tête d'acquisition apte à être introduite dans la bouche de l'utilisateur, l'outil d'acquisition étant en communication avec le téléphone portable pour transmettre le modèle acquis ou le modèle actualisé ;
- 20
- la tête d'acquisition est connectée au téléphone portable, de préférence en Bluetooth® ou par câble ;
 - le téléphone portable est utilisé pour transmettre, par voie hertzienne, le modèle acquis ou le modèle actualisé, de préférence à un professionnel de soins dentaires, et en particulier à un orthodontiste, et/ou à un centre de traitement informatique, de
- 25
- le scanner portable est un télédécteur par laser, en anglais lidar, pour « light detection and ranging » ;
 - à l'étape a), le scanner portable projette une lumière structurée directement sur les dents du patient et acquiert des images différentes de photos;

- à l'étape a), l'utilisateur modifie l'angulation du scanner portable, de préférence en déplaçant le scanner portable par rapport aux dents du patient, de préférence horizontalement et/ou verticalement, de préférence bouche ouverte et bouche fermée ;
- à l'étape a), l'utilisateur écarte ses lèvres et/ou ses joues pour rendre ses dents visibles
5 du scanner portable, puis acquiert le modèle acquis, de préférence de manière extra-orale, c'est-à-dire sans faire pénétrer, même partiellement, le scanner portable dans sa bouche ;
- de préférence, l'utilisateur met en œuvre un écarteur et/ou un support de scanner portable pour améliorer la qualité du modèle acquis ;
- 10 – à l'étape a), le scanner portable est immobilisé sur un support comportant un rebord, le rebord étant inséré entre les lèvres et les dents de l'utilisateur ;
- le support comporte un espaceur tubulaire qui définit une ouverture orale, ledit rebord s'étendant à la périphérie de l'ouverture orale ;
- à l'étape a), l'utilisateur modifie l'angulation du scanner portable, de préférence en
15 déplaçant le support par rapport aux dents du patient, de préférence horizontalement et/ou verticalement, de préférence bouche ouverte et bouche fermée, en maintenant le rebord du support entre les dents de l'utilisateur et les lèvres de l'utilisateur ;
- à l'étape a), le modèle acquis avec le scanner portable est découpé de manière à définir
20 une pluralité de modèles de dents, puis on corrige et/ou on simplifie successivement chacun desdits modèles de dent, de préférence comme décrit ci-dessus ;
- le procédé comporte, après l'étape a), l'étape suivante :
b) détermination d'au moins une valeur d'un paramètre dimensionnel du modèle actualisé, ou « valeur dimensionnelle », et/ou d'un paramètre d'aspect du modèle actualisé, ou « valeur d'aspect » ;
- 25 – à l'étape b), on définit plus de deux valeurs dimensionnelles, de préférence suffisamment de valeurs dimensionnelles pour définir une position dans l'espace d'au moins un point du modèle actualisé, de préférence de plus de 10, plus de 100, plus de 500 points du modèle actualisé ;
- le paramètre dimensionnel est choisi parmi
30 - une dimension du modèle actualisé ;

- une distance d'un point remarquable du modèle actualisé par rapport à un référentiel, de préférence fixe par rapport au modèle actualisé, de préférence un modèle de référence disposé, comme le modèle actualisé, dans une configuration normalisée, et
- 5 - un paramètre dérivé d'une ou plusieurs dimensions du modèle actualisé et/ou d'une ou plusieurs distances d'un point ou plusieurs points remarquables du modèle actualisé par rapport au dit référentiel ;
- le paramètre d'aspect est choisi parmi une couleur, une réflectance, une transparence, une réflectivité, une teinte, une translucidité, une opalescence, un indice sur la présence de tartre, d'une plaque dentaire ou de nourriture sur la dent ;
- 10 - pour déterminer une dite valeur dimensionnelle, on mesure une distance entre un point du modèle actualisé et un modèle de référence disposé, comme le modèle actualisé, dans une configuration normalisée ;
- le modèle de référence est de préférence
 - un modèle de l'objet actualisé obtenu par un scan, de préférence avec le scanner
 - 15 portable ou avec un scanner professionnel, de préférence à un instant antérieur de plus de 2 semaines, 4 semaines, 6 semaines, 2 mois, 3 mois et/ou de moins de 6 mois à l'instant actualisé, ou
 - un modèle de l'objet actualisé, qui simule la forme dudit objet telle qu'anticipée pour l'instant actualisé et qui, de préférence, a été réalisé à un instant antérieur de plus de 2
 - 20 semaines, 4 semaines, 6 semaines, 2 mois, 3 mois et/ou de moins de 6 mois à l'instant actualisé, ou
 - un modèle de l'objet actualisé, qui simule la forme dudit objet telle qu'anticipée pour un instant de référence, postérieur ou antérieur à l'instant actualisé, l'intervalle temporel entre les instants actualisé et de référence étant de préférence supérieur à une
 - 25 semaine, de préférence supérieur à 2 semaines, à 4 semaines, à 6 semaines, à 2 mois et/ou inférieur à 6 mois,
 - ledit modèle ayant de préférence été réalisé plus de 2 semaines, plus de 4 semaines, plus de 6 semaines, plus de 2 mois ou plus de 3 mois avant l'instant actualisé, ou
 - un modèle historique choisi dans une bibliothèque historique comportant plus de
 - 30 1 000, de préférence plus de 10 000, de préférence plus de 100 000 modèles historiques représentant des objets du même type que l'objet actualisé, ledit choix étant de préférence guidé de manière que le modèle historique choisi soit le modèle

historique présentant la plus grande proximité de forme avec le modèle actualisé, ou
- un modèle obtenu par traitement statistique des modèles historiques de ladite
bibliothèque historique, de préférence de manière que le modèle obtenu par traitement
statistique soit représentatif d'une population d'individus ;

- 5 – le procédé comporte, après l'étape b) l'étape suivante :
- c) utilisation de la valeur dimensionnelle et/ou la valeur d'aspect pour :
- détecter ou évaluer une position ou d'une forme d'une dent et/ou une évolution d'une position ou d'une forme d'une dent et/ou une vitesse d'évolution d'une position ou d'une forme d'une dent, et/ou
- 10 - détecter ou évaluer une position ou une forme d'un appareil orthodontique et/ou une évolution d'une position ou d'une forme d'un appareil orthodontique et/ou une vitesse d'évolution d'une position ou d'une forme d'un appareil orthodontique, et/ou
- mesurer une évolution de la forme de la denture du patient entre deux dates, et/ou
 - en dentisterie ;
- 15 – à l'étape c), on utilise la valeur dimensionnelle et/ou la valeur d'aspect pour
- détecter ou évaluer une position ou une forme d'une tâche ou d'une carie :
 - suivre l'éruption d'une dent, et/ou
 - détecter une récurrence ou une position anormale d'une dent, et/ou
 - détecter une abrasion d'une dent, et/ou
- 20 - suivre l'ouverture ou la fermeture d'au moins un espace entre deux dents, et/ou
- contrôler la stabilité ou la modification de l'occlusion,
 - suivre le déplacement d'une dent vers un positionnement prédéterminé, et/ou
 - détecter ou évaluer un décollement d'une bague ou d'une gouttière orthodontique,
 - optimiser la date de prise de rendez-vous chez un professionnel de soins dentaires,
- 25 et/ou
- évaluer un indice orthodontique, en particulier choisi parmi les indices orthodontiques listés dans la définition d'un indice orthodontique ci-dessous, de préférence un indice orthodontique indiquant si
- l'utilisateur a atteint une classe d'occlusion n°I pour les canines, et/ou
- 30 - l'utilisateur a atteint une classe d'occlusion n°I pour les molaires, et/ou
- les espaces antérieurs du patient sont fermés, et/ou
 - tous les espaces résultant de l'extraction d'une dent sont fermés, et/ou
 - l'utilisateur a un surplomb horizontal , ou « overjet » en anglais, normal, de

préférence compris entre 1 et 3 mm, et/ou

- l'utilisateur a un surplomb vertical, ou « overbite » en anglais, normal, de préférence compris entre 1 et 3 mm, et/ou

- les lignes médianes des arcades inférieure et supérieure sont décalées, et/ou

5 - l'utilisateur ne présente pas de décalage latéral de l'arcade supérieure par rapport à l'arcade inférieure, et/ou

- lors des deux derniers contrôles, aucun mouvement d'une dent n'a été détecté, et/ou

- toutes les dent temporaires sont tombées,

10 ou un indice orthodontique évaluant quantitativement et/ou évaluant l'évolution temporelle de :

- la classe d'occlusion pour les canines, et/ou

- la classe d'occlusion pour les molaires, et/ou

- les espaces antérieurs du patient, et/ou

15 - les espaces résultant de l'extraction d'une dent, et/ou

- le surplomb horizontal, et/ou

- le surplomb vertical, et/ou

- le décalage entre les lignes médianes des arcades inférieure et supérieure, et/ou

- le décalage latéral de l'arcade supérieure par rapport à l'arcade inférieure, et/ou

20 - le mouvement d'une dent lors des deux derniers contrôles, et/ou

- évaluer l'efficacité d'un traitement orthodontique actif, et/ou

- mesurer l'activité d'un appareil orthodontique actif ; et/ou

- mesurer une perte d'efficacité d'un appareil orthodontique passif ; et/ou

- comparer le positionnement de dents de l'utilisateur, à l'instant actualisé, avec celui

25 desdites dents telles que représentées un modèle théorique cible, de préférence un modèle intermédiaire représentant lesdites dents dans une position anticipée, selon un plan de traitement, pour une étape finale ou pour une étape intermédiaire du traitement orthodontique, en anglais « set-up » intermédiaire ; et/ou

- évaluer la nécessité de corriger ou d'adapter le traitement orthodontique, par exemple

30 en concevant et en fabriquant une nouvelle série de gouttières orthodontiques dans le cadre d'un traitement orthodontique avec des gouttières orthodontiques, ou en changeant de type de traitement orthodontique, par exemple pour passer d'un traitement avec arcs et attache (« brackets » en anglais) à un traitement avec des

gouttières orthodontiques, ou inversement) ; et/ou

- mesurer une évolution de la forme de la denture du patient entre deux dates séparées par l'occurrence d'un choc sur les dents ou par la mise en œuvre d'un dispositif dentaire destiné au traitement de l'apnée du sommeil, ou par l'occurrence d'une greffe dans la bouche du patient ;

5 – à l'étape a), le modèle acquis avec le téléphone portable est découpé de manière à définir une pluralité de modèles de dents, puis on réalise une dite étape b) pour définir au moins une valeur dimensionnelle pour chaque modèle de dent, défini comme le modèle actualisé pour ladite étape b) ;

10 – à l'étape a), l'utilisateur acquiert, de préférence avec un même téléphone portable, ledit modèle acquis et une ou plusieurs images actualisées, de préférence des photos en couleurs, de préférence en couleurs réalistes, et

15 – à l'étape b), on détermine une information relative à une dimension et/ou à l'aspect d'un ou plusieurs objets, de préférence des dents, représentés sur la ou les images actualisées, puis on utilise ladite information pour compléter et/ou corriger ladite valeur dimensionnelle et/ou ladite valeur d'aspect déterminés à partir du modèle actualisé ;

– à l'étape a), le modèle acquis comporte moins de 500 points.

L'invention concerne également :

20 – un programme d'ordinateur, et en particulier un applicatif spécialisé pour téléphone portable, comprenant des instructions de code de programme pour l'exécution de l'étape a), et de préférence de l'étape b), et de préférence de l'étape c), lorsque ledit programme est exécuté par un ordinateur,

25 – un support informatique sur lequel est enregistré un tel programme, par exemple une mémoire ou un CD-ROM, et

– un scanner portable, en particulier incorporé dans un téléphone portable, dans lequel est chargé un tel programme.

L'invention concerne ainsi un scanner portable, de préférence intégré dans un téléphone portable, apte à mettre en œuvre l'acquisition à l'étape a), et de préférence un ou plusieurs 30 des procédés de correction et/ou de simplification décrits dans la présente description, et de préférence l'étape b), et de préférence encore l'étape c).

Définitions

Par « utilisateur », on entend toute personne pour laquelle un procédé selon l'invention est mis en œuvre, que cette personne soit malade ou non, subisse un traitement orthodontique ou non.

- 5 Par « professionnel de soins dentaires », on entend toute personne qualifiée pour prodiguer des soins dentaires, ce qui inclut en particulier un orthodontiste et un dentiste.

Un « traitement orthodontique » est tout ou partie d'un traitement destiné à modifier la forme d'une arcade dentaire (traitement orthodontique actif) ou à maintenir la forme d'une arcade dentaire, en particulier après la fin d'un traitement orthodontique actif (traitement
10 orthodontique passif).

Les indices orthodontiques sont des indices qui permettent, de manière synthétique, d'évaluer la forme et/ou l'évolution de la forme des arcades dentaires. Ils peuvent être spécifique à une arcade ou à l'ensemble des deux arcades (indices « inter-arcades»). A titre d'exemples, on peut citer :

- 15 le surplomb vertical, le surplomb horizontal, l'encombrement, en particulier l'indice de Nance, la déviation des milieux inter-incisifs, les classes d'occlusions canines et/ou molaires, un indice d'irrégularité, en particulier l'indice de Little, la béance antérieure, la béance latérale, l'inversé d'articulé lingual postérieur, l'inversé d'articulé buccal postérieur, une longueur d'arc idéal, la présence ou non d'espace inter-dentaires, un indice de
20 nivellement de la courbe de Spee, la présence d'une rotation importante, par exemple supérieure à 10°, sur certaines dents, ainsi que les combinaisons de ces indices et leur évolutions. Des exemples d'indices orthodontiques sont ceux utilisés pour définir l'index orthodontique de l'American Board of Orthodontics « ABO Discrepancy Index ».
- 25 Un « appareil orthodontique » est un appareil porté ou destiné à être porté par un utilisateur. Un appareil orthodontique peut être destiné à un traitement thérapeutique ou prophylactique, mais également à un traitement esthétique. Un appareil orthodontique peut être en particulier un appareil à arc et attaches, ou une gouttière orthodontique, ou un appareil auxiliaire du type Carrière Motion.
- 30 Par « arcade » ou « arcade dentaire », on entend tout ou partie d'une arcade dentaire.

Par "image", on entend une représentation numérique en deux dimensions, comme une photographie ou une image extraite d'un film. Une image est formée de pixels.

Par « modèle », on entend un modèle tridimensionnel numérique. Un modèle est constitué d'un ensemble de voxels. Il comporte classiquement un maillage constitué de points reliés
5 par des segments de droite, c'est-à-dire un assemblage de triangles.

Un « modèle de dent » est un modèle numérique tridimensionnel d'une dent. Un modèle d'une arcade dentaire peut être découpé de manière à définir, pour au moins une partie des dents, de préférence pour toutes les dents représentées dans le modèle de l'arcade, des modèles de dent. Les modèles de dent sont donc des modèles au sein du modèle de l'arcade.

10 Un « modèle d'une arcade » est un modèle représentant au moins une partie d'une arcade dentaire, de préférence au moins 2, de préférence au moins 3, de préférence au moins 4 dents.

Un modèle, en particulier un modèle d'une arcade ou d'une dent, est « hyperréaliste » lorsque celui qui l'observe a l'impression d'observer l'objet modélisé lui-même. En particulier, les couleurs du modèle sont celles de l'objet modélisé.

15 Par modèle « brut », on entend un modèle résultant d'un scan et éventuellement corrigé selon l'invention, mais dont la couleur n'a pas été modifiée pour le rendre hyperréaliste.

Le « type » d'un objet modélisé, et en particulier de l'objet actualisé, définit la nature de cet objet. L'objet peut être en particulier du type « dent » ou « arcade » ou « gencive ». L'objet peut être également un sous-groupe de dents, par exemple le groupe des incisives ou le
20 groupe des dents portant un ou plusieurs numéros de dent, ou un sous-groupe d'arcade, par exemple l'arcade supérieure.

Un « critère de classification » est un attribut d'un objet modélisé, en particulier une arcade ou une dent, qui permet de le classer. Par exemple, le critère de classification peut être une classe d'occlusion, une plage pour une dimension (par exemple hauteur, largeur, concavité,
25 distance inter-canine, largeur inter-prémolaire, largeur inter-molaire, longueur ou flèche d'arcade, périmètre d'arcade) de l'objet modélisé, l'âge, le sexe, la pathologie, ou un traitement orthodontique de la personne qui possède l'objet modélisé, un indice orthodontique, en particulier choisi parmi les indices orthodontiques listés ci-dessus, ou une combinaison de ces critères.

30 L'utilisation d'un critère de classification permet en particulier de sélectionner des objets modélisés qui présentent des caractéristiques proches ou identiques. Avantagusement, elle

5 permet de constituer une base d'apprentissage bien adaptée à l'objet qu'un réseau de neurones est destiné à traiter. Par exemple, si un réseau de neurones est destiné à corriger des modèles de dent représentant des dents ayant le numéro 14, il est préférable de l'entraîner avec une base d'apprentissage ne comportant que des enregistrements relatifs à des dents n°14. Le numéro de dent est alors un critère de classification.

10 Une « configuration normalisée » est un positionnement d'un modèle, dans l'espace, suivant une orientation prédéterminée, avec une échelle prédéterminée. Pour comparer la forme de deux modèles représentant un objet, par exemple une arcade ou une dent, les deux modèles peuvent être disposés suivant la configuration normalisée. Les procédés de normalisation pour disposer et dimensionner un modèle suivant une configuration normalisée sont bien connus. Pour comparer la forme de deux modèles, on peut en particulier utiliser un algorithme de recherche itérative du point le plus proche (ICP, ou « Iterative Closest Point » en anglais, décrite dans https://fr.wikipedia.org/wiki/Iterative_Closest_Point).

15 Le « découpage » d'un modèle d'une arcade en « modèles de dent » est une opération permettant de délimiter et rendre autonomes les représentations des dents (modèles de dent) dans le modèle de l'arcade. Il existe des outils informatiques pour manipuler les modèles de dent d'un modèle d'arcade. Un exemple de logiciel permettant de manipuler les modèles de dent et créer un scénario de traitement est le programme Treat, décrit sur la page https://en.wikipedia.org/wiki/Clear_aligners#cite_note-invisalignsystem-10.

20 Un « traitement statistique » est un traitement qui, appliqué à un ensemble de données, permet de déterminer des caractéristiques propres à cet ensemble, par exemple une moyenne, un écart-type, ou une valeur médiane. Les outils de traitement statistique sont bien connus de l'homme du métier.

25 Les méthodes « métaheuristiques » sont des méthodes d'optimisation connues. Dans le cadre de la présente invention, elles sont de préférence choisies dans le groupe formé par :
- les algorithmes évolutionnistes, de préférence choisie parmi les stratégies d'évolution, les algorithmes génétiques, les algorithmes à évolution différentielle, les algorithmes à estimation de distribution, les systèmes immunitaires artificiels, la recombinaison de chemin Shuffled Complex Evolution, le recuit simulé, les algorithmes de colonies de
30 fourmis, les algorithmes d'optimisation par essais particuliers, la recherche avec tabous, et la méthode GRASP ;
- l'algorithme du kangourou,

- la méthode de Fletcher et Powell,
 - la méthode du bruitage,
 - la tunnelisation stochastique,
 - l'escalade de collines à recommencements aléatoires,
- 5 - la méthode de l'entropie croisée, et
- les méthodes hybrides entre les méthodes métaheuristiques citées ci-dessus.

On appelle « concordance » ou « proximité » (« match » ou « fit » en anglais) entre deux objets une mesure de la différence, ou « distance », entre ces deux objets. Une concordance est maximale (« best fit ») lorsque cette différence est minimale.

- 10 Un « réseau de neurones » ou « réseau neuronal artificiel » est un ensemble d'algorithmes bien connu de l'homme de l'art. Pour être opérationnel, un réseau de neurones doit être entraîné par un processus d'apprentissage appelé « deep learning », à partir d'une base d'apprentissage.

- 15 Une « base d'apprentissage » est une base d'enregistrements informatiques adaptée à l'entraînement d'un réseau de neurones. La qualité de l'analyse réalisée par le réseau de neurones dépend directement du nombre d'enregistrements de la base d'apprentissage. Classiquement, la base d'apprentissage comporte plus de 1 000, de préférence plus de 10 000 enregistrements.

- 20 L'entraînement d'un réseau de neurones est adapté au but poursuivi et ne pose pas de difficulté particulière à l'homme de l'art. L'entraînement d'un réseau de neurones consiste à le confronter à une base d'apprentissage contenant des informations sur des premiers objets et deuxièmes objets que le réseau de neurones doit apprendre à faire « correspondre », c'est-à-dire à connecter l'un à l'autre.

- 25 L'entraînement peut se faire à partir d'une base d'apprentissage « pairée » ou « avec paires », constituée d'enregistrements « de paires », c'est-à-dire comportant chacun un premier objet pour l'entrée du réseau de neurones, et un deuxième objet correspondant, pour la sortie du réseau de neurones. On dit aussi que l'entrée et la sortie du réseau de neurones sont « pairées ». L'entraînement du réseau de neurones avec toutes ces paires lui apprend à fournir, à partir d'un objet similaire aux premiers objets, un objet correspondant similaire
- 30 aux deuxièmes objets.

L'article « *Image-to-Image Translation with Conditional Adversarial Networks* » de Phillip Isola Jun-Yan Zhu, Tinghui Zhou, Alexei A. Efros, Berkeley AI Research (BAIR) Laboratory, UC Berkeley, illustre l'utilisation d'une base d'apprentissage pairée.

Un « référentiel » a pour fonction de servir de base pour mesurer une ou plusieurs distances.

5 Un référentiel peut être par exemple un repère tridimensionnel, par exemple orthonormé. Le repère tridimensionnel est de préférence fixe par rapport au modèle considéré. Si le modèle représente une arcade, il peut par exemple avoir son origine au centre de la cavité buccale de l'utilisateur. En particulier, le repère tridimensionnel est de préférence indépendant de la position et de l'orientation du scanner portable.

10 Les dimensions (longueur, largeur, hauteur) d'une arcade sont classiquement mesurées en considérant que l'arcade est dans un plan horizontal. La direction de la hauteur Y est alors la direction verticale. La direction de la largeur X est la direction transversale pour l'utilisateur, qui s'étend de la droite à la gauche de l'utilisateur. La direction de la longueur Z est la direction de la profondeur pour l'utilisateur, qui s'étend de l'avant à l'arrière de
15 l'utilisateur.

Les dimensions (longueur, largeur, hauteur) d'une dent sont classiquement mesurées en considérant que l'arcade est dans un plan horizontal. La direction de la hauteur Y' est alors la direction verticale. La direction de la largeur X' est la direction de la plus grande dimension de la dent lorsqu'elle est observée de face, perpendiculairement à la direction de
20 la hauteur. La direction de la longueur Z' est la direction perpendiculaire aux directions Y' et X'.

Selon la convention internationale de la Fédération Dentaire Internationale, chaque dent d'une arcade dentaire a un numéro prédéterminé. Les numéros de dent définis par cette convention sont rappelés sur la figure 6.

25 Un « point remarquable » est un point d'un modèle d'arcade ou de dent que l'on peut identifier, par exemple le sommet de la dent ou à la pointe d'une cuspide, un point de contact interdentaire, c'est-à-dire d'une dent avec une dent adjacente, par exemple un point mésial ou distal du bord incisif d'une dent, ou un point au centre de la couronne de la dent, ou « barycentre ».

30 Une « angulation » est une orientation de l'axe optique du scanner portable par rapport à l'utilisateur, lors de l'acquisition du modèle à l'étape a).

Un scanner 3D, ou « scanner », est un appareil permettant d'obtenir un modèle d'une dent ou d'une arcade dentaire. Il utilise classiquement une lumière structurée et, à partir de différentes images et, de préférence par la mise en correspondance de points particuliers sur ces images, parvient à constituer un modèle 3D.

5 Plus précisément, le scanner portable projette la lumière structurée sur les dents du patient tout en acquérant lesdites images. Le scanner peut projeter un motif lumineux sur les dents. La déformation de ce motif permet l'interprétation spatiale de la scène.

Parmi les techniques classiquement utilisées, on peut citer la projection d'un motif à 1 dimension ou à 2 dimensions, la triangulation laser multi bande, en anglais "*Multistripe laser*
10 *Triangulation* (MLT)", et les franges numériques et la technique à phase modulée.

Alternativement ou en complément de la projection de lumière structurée, le scanner portable projette de la lumière modulée sur les dents du patient tout en acquérant lesdites images. La lumière projetée est alors changeante et la caméra du scanner mesure la variation de la lumière réfléchie au cours du temps afin d'en déduire la distance que celle-ci parcourt. Parmi
15 les techniques classiquement utilisées, on peut citer en particulier la technique à phase modulée.

L'analyse des images permet la construction du modèle.

Les images peuvent être du même type que les images acquises par les scanners optiques 3D intraoraux conventionnels.

20 Les images sont des représentations de la scène observée, en l'occurrence des dents du patient, mais leur nature est spécifique à la nature de la source lumineuse éclairant la scène. Les images ne sont de préférence pas des photos représentant la scène de manière réaliste, comme l'observerait directement une personne.

La différence maximale de forme entre le modèle acquis avec le scanner et l'objet scanné, à
25 l'échelle réelle, est inversement proportionnelle à la performance du scanner. Elle est appelée « résolution d'acquisition » ou « précision » du scanner. Plus la résolution est petite, plus le modèle est fidèle à la réalité.

Un télédéetecteur par laser est particulièrement bien adapté à l'invention car il permet une acquisition extraorale d'un modèle précis de l'arcade, par le patient lui-même, la lumière
30 laser étant projetée directement sur les dents du patient.

Un scanner professionnel a de préférence une précision inférieure à 5/10 mm (c'est-à-dire que la différence maximale de forme entre le modèle acquis avec le scanner et l'objet réel scanné, à l'échelle réelle, est inférieure à 5/10 mm), de préférence inférieure à 3/10 mm, de préférence inférieure à 1/10 mm, de préférence inférieure à 1/50 mm, de préférence inférieure à 1/100 mm et/ou supérieure à 1/500 mm.

On appelle "téléphone portable" ou « téléphone mobile » un appareil de type iPhone®. Un tel appareil pèse typiquement moins de 500 g, ou moins de 200 g, est doté d'un appareil photo comportant un objectif lui permettant de prendre des films ou des photos, voire d'un scanner lui permettant d'acquérir des modèles numériques tridimensionnels. Un téléphone portable est en outre capable d'échanger des données avec un autre appareil éloigné de plus de 500 km du téléphone portable, et est capable d'afficher sur un écran les films, photos ou modèles qu'il a permis d'acquérir.

Un « écarteur » (« retractor » en anglais), ou « écarteur dentaire », est un dispositif destiné à retrousser les lèvres. Il comporte un rebord supérieur et un rebord inférieur, et/ou un rebord droit et un rebord gauche, s'étendant autour d'une ouverture d'écarteur et destinés à être introduits entre les dents et les lèvres. En position de service, les lèvres de l'utilisateur sont en appui sur ces rebords, de sorte que les dents sont visibles à travers l'ouverture d'écarteur. Un écarteur permet ainsi d'observer les dents sans être gêné par les lèvres.

Les dents ne reposent cependant pas sur l'écarteur, de sorte que l'utilisateur peut, en tournant la tête par rapport à l'écarteur, modifier les dents qui sont visibles à travers l'ouverture d'écarteur. Il peut aussi modifier l'écartement entre ses arcades dentaires. En particulier, un écarteur n'appuie pas sur les dents de manière à écarter les deux mâchoires l'une de l'autre, mais sur les lèvres.

Dans un mode de réalisation, un écarteur est configuré de manière à écarter élastiquement l'une de l'autre les lèvres supérieure et inférieure de manière à dégager les dents visibles à travers l'ouverture d'écarteur.

Dans un mode de réalisation, un écarteur est configuré de manière que la distance entre le rebord supérieur et le rebord inférieur, et/ou entre le rebord droit et le rebord gauche soit constante.

Des écarteurs sont par exemple décrits dans PCT/EP2015/074896, US 6,923,761, ou US 2004/0209225.

La « position de service » est la position dans laquelle l'utilisateur acquiert le modèle acquis à l'étape a). Lorsqu'il utilise un support pour fixer rigidement le scanner portable, le support est partiellement introduit dans la bouche de l'utilisateur, comme illustré sur les figures 2 et 3.

- 5 La position « bouche fermée » est la position d'occlusion dans laquelle les dentures des arcades supérieure et inférieure du patient sont en contact. Une position « bouche ouverte » est une position d'ouverture de la bouche, dans laquelle les dentures des arcades supérieure et inférieure du patient ne sont pas en contact.

Le procédé (hors l'opération d'acquisition avec le scanner portable) selon l'invention est mis
10 en œuvre par ordinateur, de préférence exclusivement par ordinateur.

Par « ordinateur », on désigne une unité de traitement informatique, ce qui inclut un ensemble de plusieurs machines, ayant des capacités de traitement informatique. Cette unité peut être notamment intégrée dans le scanner portable, ou dans un téléphone portable intégrant le scanner portable, ou être un ordinateur de type PC ou un serveur, par exemple
15 un serveur à distance de l'utilisateur, par exemple être le « cloud » ou un ordinateur disposé chez un professionnel des soins dentaires. Le téléphone portable et l'ordinateur comportent alors des moyens de communication pour échanger entre eux, notamment pour transmettre le modèle actualisé, optionnellement corrigé et/ou simplifié, et/ou une ou plusieurs valeurs dimensionnelles déterminée selon l'invention.

20 Classiquement, un ordinateur comporte en particulier un processeur, une mémoire, une interface homme-machine, comportant classiquement un écran, un module de communication par internet, par WIFI, par Bluetooth® ou par le réseau téléphonique. Un logiciel configuré pour mettre en œuvre un procédé de l'invention est chargé dans la mémoire de l'ordinateur. L'ordinateur peut être également connecté à une imprimante.

25 « Premier », « deuxième » sont utilisés à des fins de clarté.

De même, à des fins de clarté :

- « de base » fait référence à un modèle utilisé dans le procédé de simplification préféré ;
- « de référence » fait référence à un modèle utilisé à l'étape b) pour évaluer une valeur dimensionnelle ou une valeur d'aspect, ou à un instant auquel on prévoit que l'objet
30 modélisé par le modèle de référence aura la forme ou l'aspect de ce modèle ;
- « de correction » fait référence à un modèle ou à un instant utilisé dans un procédé de correction préféré ;

- « actualisé » fait référence à l'étape a), et en particulier au modèle issu de l'étape a) ;
- « historique » fait référence à un ou plusieurs modèles acquis antérieurement à l'instant actualisé, en particulier modélisant une arcade ou une dent d'une personne « historique » différente de l'utilisateur ;

5 - « optimal » fait référence à un modèle qui, parmi en ensemble de modèles, présente la forme la plus proche du modèle actualisé.

« Vertical », « horizontal », « droite », « gauche », « devant » ou « de face », « derrière », « au-dessus », « au-dessous » font référence à un utilisateur qui se tient debout, verticalement.

10 Il faut interpréter "comprenant " ou "comportant " ou "présentant " de manière non restrictive, sauf indication contraire.

Brève description des figures

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront encore à la lecture de la description détaillée qui va suivre et à l'examen du dessin annexé dans lequel :

- 15 - [Fig 1] la figure 1 représente, schématiquement, un exemple de kit selon l'invention ;
- [Fig 2] la figure 2 représente, schématiquement, le kit selon l'invention dans une position de service, l'utilisateur étant vu de face ;
- [Fig 3] la figure 3 représente, schématiquement, le kit selon l'invention dans une position de service, l'utilisateur étant vu de côté ;
- 20 - [Fig 4] la figure 4 représente un modèle acquis, avec trois résolutions d'acquisition différentes ;
- [Fig 5] la figure 5 est un exemple de modèle acquis, après un traitement pour découper des modèles de dent ; un exemple de modèle de dent est coloré en gris foncé ;
- [Fig 6] la figure 6 illustre la numérotation des dents utilisée dans le domaine dentaire ;
- 25 - [Fig 7] la figure 7 illustre un procédé d'acquisition selon l'invention ;
- [Fig 8] la figure 8 illustre un premier procédé de correction selon l'invention ;
- [Fig 9] la figure 9 illustre un deuxième procédé de correction selon l'invention ;
- [Fig 10] la figure 10 représente schématiquement un exemple de scanner portable dans un mode de réalisation de l'invention ;
- 30 - [Fig 11] la figure 11 présente différents clichés apportant des données complémentaires ;

- [Fig 12] la figure 12 représente schématiquement un exemple de dispositif pour la mise en œuvre d'un procédé d'acquisition d'images selon l'invention.

Dans les différentes figures, des références identiques sont utilisées pour désigner des objets analogues ou identiques.

5 Description détaillée

L'objectif d'un procédé selon l'invention, illustré sur la figure 7, est de fournir rapidement un modèle tridimensionnel numérique d'une arcade de l'utilisateur, ou d'une partie de cette arcade, c'est-à-dire un « modèle actualisé ».

10 **A l'étape a)**, à un instant actualisé, l'utilisateur génère, avec un scanner portable 6, le « modèle acquis ».

De préférence, le modèle acquis représente au moins 2, de préférence au moins 3, de préférence au moins 4 dents, de préférence toutes les dents de l'arcade.

15 Un scanner portable est un scanner autonome, en particulier en ce qu'il intègre sa propre source d'énergie, classiquement une batterie, et en ce que son poids autorise sa manipulation à la main.

De préférence, le scanner portable pèse moins de 1 kg, de préférence moins de 500 g, de préférence moins de 200 g, et/ou plus de 50 g.

De préférence, la plus grande dimension du scanner portable est inférieure à 30 cm, à 20 cm ou à 15 cm et/ou supérieure à 5 cm.

20 Le scanner portable a de préférence une résolution d'acquisition inférieure à 10 mm, de préférence inférieure à 5 mm, de préférence inférieure à 3 mm, de préférence inférieure à 2 mm, de préférence inférieure à 1 mm, de préférence inférieure à 1/2 mm, de préférence inférieure à 1/5 mm, de préférence inférieure à 1/10 mm.

25 Le scanner portable est de préférence configuré de manière que le modèle acquis comporte plus de 5 000 et/ou moins de 200 000, ou moins de 150 000 points.

La figure 4 montre des exemples de modèles d'arcade 8 acquis avec un scanner portable comportant 5000, 11 500 et 154 000 points, respectivement.

Le scanner portable 6 peut être intégré dans un téléphone portable 12, comme sur la figure 1, ou être en communication avec un téléphone portable. L'étape a) est ainsi facile à mettre

en œuvre par l'utilisateur. Le téléphone portable permet en outre de transférer le modèle actualisé à un ordinateur distant.

L'instant actualisé peut être au cours d'un traitement orthodontique subi par l'utilisateur ou en dehors de tout traitement orthodontique.

- 5 A l'étape a), le scanner portable est de préférence porté à la main par l'utilisateur. De préférence, il n'est pas immobilisé, par exemple au moyen d'une structure reposant sur le sol, par exemple d'un trépied. De préférence, la tête de l'utilisateur n'est pas immobilisée.

Dans un mode de réalisation, l'utilisateur scanne l'arcade dentaire sans utiliser d'autre appareil que le scanner portable.

- 10 Dans un mode de réalisation préféré, il utilise un outil pour dégager ses lèvres, et mieux exposer l'arcade dentaire au scanner portable. L'outil peut être par exemple une cuillère introduite dans sa bouche.

Dans un mode de réalisation, il utilise un écarteur et/ou un support buccal qu'il introduit partiellement dans sa bouche.

15 Support de scanner portable

Dans un mode de réalisation particulièrement avantageux, à l'étape a), l'utilisateur utilise un kit 10 comportant le scanner portable 6 et un support 14 (figure 1) permettant simultanément

- d'écarter les lèvres de l'utilisateur pour en dégager les dents, et
- 20 - de faciliter le positionnement et l'orientation du scanner portable 6 par rapport aux dents.

Le support 14 présente de préférence la forme générale d'un corps tubulaire dont une ouverture, dite « ouverture orale » Oo, est destinée à être introduite dans la bouche du patient, et dont l'ouverture opposée, dite « ouverture d'acquisition », fait face à l'objectif du scanner portable, rigidement fixé, de préférence de manière amovible, sur le support 14.

- 25 De préférence, l'ouverture d'acquisition fait également face à un flash du scanner portable, ce qui permet d'utiliser pour éclairer les dents de l'utilisateur lors de l'acquisition.

Le support 14 permet de définir un espacement entre le scanner portable et l'ouverture orale Oo ainsi qu'une orientation du scanner portable par rapport à l'ouverture orale. Avantageusement, dans la position de service, les données acquises par le scanner portable

- 30 6 à travers son objectif, l'ouverture d'acquisition et l'ouverture orale sont ainsi acquises à

une distance prédéterminée des dents de l'utilisateur et selon une orientation prédéfinie. De préférence, le support est configuré pour que cet espacement et cette orientation soient constants.

De préférence, le support 14 comporte :

- 5 - un espaceur tubulaire 16 qui définit l'ouverture orale Oo et comporte de préférence un rebord 22 s'étendant radialement vers l'extérieur, à la périphérie de l'ouverture orale Oo, destiné à être introduit entre les lèvres et les dents de l'utilisateur, et
- un adaptateur 18 sur lequel le scanner portable 6 est fixé, par exemple serré entre deux mâchoires 24₁ et 24₂, comme illustré sur la figure 1, l'adaptateur 18 étant fixé rigidement
- 10 sur l'espaceur 16, de préférence de manière amovible, par exemple au moyen d'un clips 20, ou venu de matière avec l'espaceur, de manière que l'objectif du scanner portable puisse « voir » l'ouverture orale.

La hauteur maximale h_{22} du rebord 22 est de préférence supérieure à 3 mm et inférieure à 10 mm.

- 15 Pour acquérir le modèle acquis, l'utilisateur assemble l'espaceur tubulaire 16 à l'adaptateur 18 au moyen du clips 20, puis le scanner portable sur l'adaptateur 18 de sorte que le scanner portable puis réaliser un scan à travers l'espaceur tubulaire 16 et l'adaptateur 18. Il introduit ensuite dans sa bouche l'extrémité de l'espaceur tubulaire opposée au scanner portable, en insérant le rebord 22 entre ses lèvres et les dents. Les lèvres reposent ainsi sur l'espaceur
- 20 tubulaire 16, à l'extérieur de ce dernier, ce qui permet de bien dégager la vue sur les dents à travers l'ouverture orale Oo.

- Dans la position de service obtenue, comme illustré sur les figures 2 et 3, les dents ne reposent pas sur le support, de sorte que l'utilisateur U peut, en tournant la tête par rapport au support, modifier les dents qui sont visibles par le scanner portable à travers l'ouverture
- 25 orale. Il peut aussi modifier l'écartement entre ses arcades dentaires. En particulier, le support écarte les lèvres, mais n'appuie pas sur les dents de manière à écarter les deux mâchoires l'une de l'autre.

Le modèle acquis peut représenter totalement ou partiellement une arcade dentaire ou les deux arcades dentaires.

- 30 Découpage du modèle acquis

Dans un mode de réalisation, le modèle de l'arcade acquis avec le scanner portable est découpé, de préférence pour définir au moins un modèle de dent 30. Dans un mode de réalisation, le modèle actualisé est ainsi réduit à une partie du modèle acquis, de préférence réduit à un modèle de dent.

- 5 De préférence, les étapes b) et c) sont alors mises œuvre successivement pour chaque modèle de dent.

Le découpage d'un modèle peut mettre en œuvre tout procédé de découpage connu.

- La correction du modèle actualisé, éventuellement issu d'un découpage du modèle acquis, consiste à le modifier pour qu'il soit plus conforme à l'objet qu'il modélise. A cet effet, on
10 peut notamment améliorer la résolution du modèle et/ou le compléter et/ou lui donner des couleurs plus réalistes, par exemple pour le rendre hyper réaliste, et/ou le nettoyer. Le nettoyage du modèle consiste à supprimer des parties du modèle qui ne modélisent pas l'objet visé, par exemple en supprimer la représentation d'une attache orthodontique lorsque
15 l'objet visé est une dent ou supprimer des défauts résultant de l'opération d'acquisition, en particulier pour nettoyer des artefacts dus à la salive pendant l'acquisition.

Correction

Le modèle actualisé est de préférence traité informatiquement pour être corrigé. La correction du modèle actualisé peut être effectuée après ou avant une simplification.

- Dans un mode de réalisation préféré, illustré sur la figure 8, le modèle actualisé est comparé
20 à un « modèle de correction », puis corrigé en fonction des résultats de cette comparaison.

De préférence, on procède suivant les étapes suivantes lorsque le modèle à corriger est un modèle de dent :

- 25 i) création d'une bibliothèque historique comportant plus de 1 000 modèles de dent, dits « modèles de dent historiques », et attribution à chaque modèle de dent historique, d'un numéro de dent ;
- ii) analyse du modèle de dent à corriger, de manière à déterminer le numéro de la dent modélisé par ledit modèle de dent à corriger ;
- iii) recherche, dans la bibliothèque historique, d'un modèle de dent historique ayant le même numéro et présentant une proximité maximale avec ledit modèle de dent à corriger,
30 ou « modèle de dent optimal » ;
- iv) modification du modèle de dent à corriger à partir d'informations relatives au modèle

de dent optimal, la modification pouvant comporter un remplacement du modèle de dent à corriger par le modèle de dent optimal.

A l'étape i), on crée une bibliothèque historique comportant de préférence plus de 2 000, de préférence plus de 5 000, de préférence plus de 10 000 et/ou moins de 1 000 0000 modèles de dent historiques.

Un modèle de dent historique peut être en particulier obtenu à partir d'un modèle d'une arcade dentaire d'un patient « historique » obtenu avec un scanner. Ce modèle d'arcade peut être découpé afin d'isoler les représentations des dents, c'est-à-dire les modèles de dent, comme sur la figure 5.

10 La bibliothèque historique contient donc des modèles de dent historiques et les numéros des dents modélisées par ces modèles de dent historiques.

A l'étape ii), on analyse le modèle de dent à corriger pour déterminer son numéro.

Les numéros de dent sont classiquement attribués selon une règle standard. Il suffit donc de connaître cette règle et le numéro d'une dent modélisée pour déterminer les numéros des autres modèles de dent.

Dans un mode de réalisation préféré, la forme du modèle de dent à corriger est analysée de manière à définir son numéro. Cette reconnaissance de forme est de préférence réalisée au moyen d'un réseau de neurones.

De préférence, on utilise un réseau de neurones, de préférence choisi parmi les « Object Detection Networks », par exemple parmi les réseaux de neurones suivants : R-CNN (2013), SSD (Single Shot MultiBox Detector : Object Detection network), Faster R-CNN (Faster Region-based Convolutional Network method : Object Detection network), Faster R-CNN (2015), SSD (2015), RCF (Richer Convolutional Features for Edge Detection) (2017), SPP-Net, 2014, OverFeat (Sermanet et al.), 2013, GoogleNet (Szegedy et al.), 2015, VGGNet (Simonyan and Zisserman), 2014, R-CNN (Girshick et al.), 2014, Fast R-CNN (Girshick et al.), 2015, ResNet (He et al.), 2016, Faster R-CNN (Ren et al.), 2016, FPN (Lin et al.), 2016, YOLO (Redmon et al.), 2016, SSD (Liu et al.), 2016, ResNet v2 (He et al.), 2016, R-FCN (Dai et al.), 2016, ResNeXt (Lin et al.), 2017, DenseNet (Huang et al.), 2017, DPN (Chen et al.), 2017, YOLO9000 (Redmon and Farhadi), 2017, Hourglass (Newell et al.), 2016, MobileNet (Howard et al.), 2017, DCN (Dai et al.), 2017, RetinaNet (Lin et al.), 2017, Mask R-CNN (He et al.), 2017, RefineDet (Zhang et al.), 2018, Cascade RCNN (Cai et al.), 2018,

NASNet (Zoph et al.), 2019, CornerNet (Law and Deng), 2018, FSAF (Zhu et al.), 2019, SENet (Hu et al.), 2018, ExtremeNet (Zhou et al.), 2019, NAS-FPN (Ghiasi et al.), 2019, Detnas (Chen et al.), 2019, FCOS (Tian et al.), 2019, CenterNet (Duan et al.), 2019, EfficientNet (Tan and Le), 2019, AlexNet (Krizhevsky et al.), 2012, Cbnet (2020), Point-
5 gnn (2020), MDFN (2020), CADN (2021).

De préférence, on entraîne le réseau de neurones en lui fournissant en entrée des modèles de dent et en sortie le numéro de dent associé. Le réseau de neurones apprend ainsi à fournir un numéro de dent pour un modèle de dent qu'on lui présente en entrée.

On peut ensuite modifier le modèle de dent à corriger à partir d'un modèle de dent
10 historique ayant le même numéro.

A l'étape iii), on recherche dans la bibliothèque historique, parmi les modèles de dent historiques ayant le même numéro que le modèle de dent à corriger, le modèle de dent historique présentant une proximité maximale avec le modèle de dent à corriger. Ce modèle de dent historique est qualifié de « modèle de dent optimal ».

15 La « proximité » est une mesure de la différence de forme entre le modèle de dent historique et le modèle de dent à corriger. La différence de forme peut être par exemple une distance moyenne entre le modèle de dent historique et le modèle de dent à corriger après qu'ils ont été disposés dans une configuration normalisée.

De préférence, on considère que la proximité maximale, ou « concordance maximale », est
20 réalisée lorsque la distance euclidienne cumulée entre les points du modèle de dent historique et ceux du modèle de dent à corriger est minimale.

A l'étape iv), on modifie le modèle de dent à corriger à partir d'informations relatives au modèle de dent optimal, qui sert de modèle de correction.

Par exemple, les zones du modèle de dent à corriger qui, dans la configuration normalisée,
25 sont écartées du modèle de dent optimal d'une distance supérieure à un premier seuil de distance, par exemple de plus de 1 mm, peuvent être remplacées par les zones du modèle de dent optimal qui leur font face, et/ou

les zones « blanches » du modèle de dent à corriger, c'est-à-dire les zones non définies, qui font face à des zones du modèle de dent optimal qui ne sont pas blanches peuvent être
30 remplacées par ces zones du modèle de dent optimal.

La modification du modèle de dent à corriger peut également consister à remplacer le modèle de dent à corriger par le modèle de dent optimal.

De préférence, les étapes i) à iv) sont exécutées pour chaque modèle de dent découpé dans le modèle acquis.

- 5 Le procédé ci-dessus peut être appliqué à un modèle actualisé représentant une arcade dentaire. Aux étapes ii) et iii), le critère de classification du modèle actualisé est adapté en conséquence. Au lieu d'être le numéro de dent, le critère de classification peut être par exemple un ou plusieurs attributs relatifs à une arcade, par exemple la largeur de l'arcade, ou aux deux arcades. Le critère de classification peut être en particulier choisi parmi ceux
- 10 qui sont listés ci-dessus, dans la définition d'un critère de classification.

Le modèle actualisé peut être soumis à un réseau de neurones entraîné à cet effet au moyen d'une base d'apprentissage. Le réseau de neurones peut être en particulier choisi parmi les réseaux suivants : Shape Inpainting using 3D Generative Adversarial Network and Recurrent Convolutional Networks (2017), Deformable Shape Completion with Graph

15 Convolutional Autoencoders (2018), Learning 3D Shape Completion Under Weak Supervision (2018), PCN: Point Completion Network (2019), TopNet: Structural Point Cloud Decoder (2019), RL-GAN-Net: A Reinforcement Learning Agent Controlled GAN Network for Real-Time Point Cloud Shape Completion (2019), Cascaded Refinement Network for Point Cloud Completion (2020), PF-Net: Point Fractal Network for 3D Point

20 Cloud Completion (2020), Point Cloud Completion by Skip-attention Network with Hierarchical Folding (2020), GRNet: Gridding Residual Network for Dense Point Cloud Completion (2020), et Style-based Point Generator with Adversarial Rendering for Point Cloud Completion (2021).

Par exemple, chaque enregistrement de la base d'apprentissage peut comporter :

- 25 - un modèle incomplet d'un objet, par exemple
d'une arcade dentaire, ou
d'un modèle de dent, et
- le même modèle, mais complet.

De préférence, les objets modélisés dans les enregistrements appartiennent à une même

30 classe définie au moyen d'un critère de classification. Par exemple, si ces objets sont des dents, le numéro de dent des modèles de dent est de préférence identique pour tous les enregistrements de la base d'apprentissage.

De préférence, on utilise un réseau de neurones spécialisé dans la génération d'images, par exemple :

- Cycle-Consistent Adversarial Networks (2017),
- Augmented CycleGAN (2018),
- 5 - Deep Photo Style Transfer (2017),
- FastPhotoStyle (2018),
- pix2pix (2017),
- Style-Based Generator Architecture for GANs (2018),
- SRGAN (2018),
- 10 - WaveGAN 2020
- GAN-LSTM 2019,
- CSGAN 2021,
- DivCo 2021.

Après avoir été entraîné avec cette base d'apprentissage, en lui fournissant, successivement
15 pour chaque enregistrement, le modèle incomplet et en sortie le modèle complet correspondant, le réseau de neurones peut transformer un modèle incomplet en un modèle complet.

Le modèle complet sert de « modèle de correction ».

Le modèle de correction peut être utilisé pour réaliser un contrôle qualité lors de l'acquisition
20 du modèle acquis, c'est-à-dire pour vérifier que cette acquisition n'a pas généré de défauts. Un défaut est une partie du modèle acquis qui ne représente pas correctement la ou les arcades dentaires. Par exemple, le modèle peut présenter des aspérités ou des renforcements qui, dans la réalité, c'est-à-dire sur la ou les arcades dentaires, n'existent pas.

La correction du modèle acquis peut être également utilisée pour supprimer de tels défauts
25 résultant de l'opération d'acquisition.

Nettoyage

Un nettoyage du modèle actualisé est de préférence réalisé, indépendamment du procédé de
modification ci-dessus (étapes i) à iv)). L'objectif est de traiter le modèle actualisé pour faire
disparaître la représentation d'un objet extérieur, mais aussi pour la remplacer par une
30 surface représentant de manière la plus fidèle possible la surface de l'arcade couverte par cet objet.

Dans un mode de réalisation préféré, illustré sur la figure 9, le modèle actualisé est nettoyé pour en supprimer la représentation d'un objet extérieur à l'utilisateur, par exemple un attache orthodontique, masquant partiellement au moins l'objet à modéliser, par exemple une dent, en procédant suivant les étapes suivantes :

- 5 i') définition de :
- une première zone certaine constituée des points du modèle actualisé représentant l'objet à modéliser, par exemple une dent, avec une précision supérieure à 90%, ou « premiers points certains », et
 - une première zone incertaine, constituant le complément à 100% du modèle actualisé ;
- 10 ii') extrapolation de la première zone certaine, à partir de la seule première zone certaine, pour définir, dans la région de la première zone incertaine, une première zone reconstituée, puis
- définition de :
- une deuxième zone certaine constituée des points de la première zone incertaine écartés
- 15 de la première zone reconstituée d'une distance inférieure à une distance de seuil, ou « deuxièmes points certains » ; et
- une deuxième zone incertaine, constituant le complément à 100% de la première zone incertaine ;
- 20 iii') extrapolation de l'ensemble constituée des première et deuxième zones certaines, à partir du seul ensemble, pour définir, dans la région de la deuxième zone incertaine, une deuxième zone reconstituée, puis
- remplacement de la deuxième zone incertaine par la deuxième zone reconstituée, de manière à obtenir un modèle actualisé nettoyé.

25 Ces opérations permettent avantageusement de supprimer du modèle actualisé la représentation de l'objet extérieur et d'obtenir un modèle actualisé nettoyé représentant l'objet à modéliser avec une bonne précision.

L'objet extérieur peut être notamment tout ou partie d'un appareil orthodontique, d'une couronne, d'un implant, d'un bridge, d'un élastique ou d'une facette. Il peut être aussi un aliment, une goutte de salive, tout ou partie d'un outil.

30 **A l'étape i')**, on isole la représentation de l'objet extérieur. Plus précisément, on identifie les points du modèle actualisé qui sont, de manière quasi-certaine, des représentations de points de l'arcade.

Les algorithmes de détection d'objets dans des images sont bien connus de l'homme du métier. De préférence, on utilise un réseau de neurones, de préférence choisi parmi les « Object Detection Networks », par exemple parmi ceux listés ci-dessus.

5 Ces réseaux de neurones sont capables, après entraînement, de détecter les points du modèle actualisé qui, avec une précision supérieure à un seuil de précision supérieur ou égal à 90%, représentent des points de l'arcade, ou « premiers points certains ». L'ensemble de ces points, appelé « première zone certaine », constitue une fraction du modèle actualisé. Les points du modèle actualisé qui ne sont pas dans la première zone certaine forment ensemble la « première zone incertaine ».

10 De préférence, le seuil de précision est supérieur à 95%, de préférence supérieur à 98%, de préférence supérieur à 99% et/ou inférieur à 99,99%.

L'entraînement d'un réseau de neurones pour détecter un objet dans une image ne pose aucune difficulté à l'homme de l'art. Par exemple, on peut lui fournir en entrée des modèles d'arcade et en sortie les mêmes modèles d'arcade sur lesquels les zones représentant l'arcade
15 et les zones représentant un objet extérieur ont été identifiés. Il apprend ainsi à définir ces zones sur un modèle d'arcade.

Les étapes suivantes ont pour objectif de remplir la « première zone blanche » du modèle actualisé qui apparaît si on supprime la première zone incertaine.

A l'étape ii'), on utilise la première zone certaine pour définir une surface venant combler
20 ladite première zone blanche. Cette surface est appelée « première zone reconstituée ».

Les techniques pour réaliser cette extrapolation sont bien connus. On peut citer par exemple WENDLAND, Holger. Piecewise polynomial, positive definite and compactly supported radial functions of minimal degree. *Advances in computational Mathematics*, 1995, vol. 4, no 1, p. 389-396.

25 Pour affiner la reconstruction de la surface de l'arcade masquée par l'objet extérieur, on identifie ensuite les points de la première zone incertaine qui sont proches de la première zone reconstituée. Ces points sont donc des points du modèle actualisé qui sont proches d'une surface extrapolée à partir de points représentant, avec une quasi-certitude, des points de l'arcade.

30 On considère que ces points du modèle actualisé, ou « deuxièmes points certains », sont également, avec une grande précision, des points représentant des points de l'arcade. On

appelle l'ensemble de ces points « deuxième zone certaine ». Ces points sont donc des points du modèle actualisé que l'analyse de l'étape i') avait écarté, mais que l'on retient parce qu'ils sont proches d'une surface extrapolée à partir des points que l'analyse de l'étape i') avait retenus.

- 5 Les points du modèle actualisé qui n'appartiennent pas à la première zone certaine, ni à la deuxième zone certaine forment ensemble la « deuxième zone incertaine ».

La proximité d'un point de la première zone incertaine avec la première zone reconstituée peut être évaluée par une mesure de la distance euclidienne entre ce point et cette première zone reconstituée. On considère qu'un point de la première zone incertaine doit entrer dans
10 la deuxième zone certaine si cette distance est inférieure à une distance de seuil.

Si le modèle est à l'échelle 1, c'est-à-dire représente l'objet modélisé avec les dimensions réelles de cet objet, la distance de seuil est de préférence supérieure à 0,1 mm et/ou inférieure à 1 mm.

La distance de seuil peut être également déterminée par une analyse de la distribution
15 desdites distances euclidiennes entre les points de la première zone incertaine et la première zone reconstituée, par exemple en fonction de la moyenne et de l'écart type de ces distances. Un calcul dynamique avec une méthode du type « règle des 3 sigmas » peut être par exemple mis en œuvre.

A l'étape iii'), l'objectif est de remplacer la deuxième zone incertaine par une deuxième
20 zone reconstituée qui correspond mieux à la surface de l'arcade. A cet effet, on extrapole les première et deuxième zones certaines dans la région de la deuxième zone incertaine.

De manière particulièrement remarquable, l'extrapolation ne repose pas sur la seule première zone certaine, mais sur l'ensemble des première et deuxième zones certaines. Des essais ont montré que cette extrapolation permet ainsi d'obtenir une deuxième zone reconstituée
25 représentant, avec une fiabilité élevée, la surface de l'arcade.

L'extrapolation à l'étape iii') peut utiliser les mêmes méthodes que celles mises en œuvre à l'étape ii'). Elle peut également utiliser des méthodes différentes.

Les première et deuxième zones certaines et la deuxième zone reconstituée constituent le modèle actualisé nettoyé, sur lequel la représentation des objets extérieurs a été supprimée.

30 Correction de l'apparence

De préférence, le modèle actualisé est rendu hyperréaliste, de préférence au moyen d'un réseau de neurones.

Le modèle actualisé peut être soumis à un réseau de neurones entraîné à cet effet au moyen d'une base d'apprentissage, comme décrit par exemple dans

5 http://cs230.stanford.edu/projects_winter_2020/reports/32639841.pdf.

Par exemple, chaque enregistrement de la base d'apprentissage peut comporter :

- un modèle brut d'un objet, par exemple

d'une arcade dentaire, ou

d'un modèle de dent, et

10 - le même modèle, mais hyperréaliste.

Les modèles bruts ont un aspect de préférence similaire à celui du modèle actualisé. Ils peuvent être des scans, de préférence réalisés avec un scanner identique ou similaire au scanner portable utilisé à l'étape a).

15 Les modèles bruts peuvent par exemple avoir été rendus hyperréalistes par projection de photos.

De préférence, les objets modélisés dans les enregistrements appartiennent à une même classe définie au moyen d'un critère de classification. Par exemple, si ces objets sont des dents, le numéro de dent des modèles de dent est de préférence identique pour tous les enregistrements de la base d'apprentissage.

20 De préférence, on utilise un réseau de neurones spécialisé dans la génération d'images, par exemple :

- Cycle-Consistent Adversarial Networks (2017)

- Augmented CycleGAN (2018)

- Deep Photo Style Transfer (2017)

25 - FastPhotoStyle (2018)

- pix2pix (2017)

- Style-Based Generator Architecture for GANs (2018)

- SRGAN (2018).

30 Après avoir été entraîné avec la base d'apprentissage, en lui fournissant, successivement pour chaque enregistrement, le modèle brut en entrée et le modèle hyperréaliste en sortie, le réseau de neurones peut transformer un modèle brut en un modèle hyperréaliste.

Grâce aux méthodes de correction décrites ci-dessus, un modèle actualisé peut être avantageusement transformé en un modèle actualisé représentant l'objet modélisé, par exemple l'arcade réelle, avec un grand réalisme.

Simplification

- 5 Avant d'être utilisé, par exemple lors d'une étape b), le modèle actualisé, éventuellement corrigé, peut être simplifié, en particulier pour faciliter le traitement à l'étape b). La simplification peut être également réalisée avant ou après l'éventuelle correction, ou entre deux traitements de correction.

Le modèle actualisé, de préférence corrigé, est de préférence affiché sur un écran, de
10 préférence sur l'écran du téléphone portable lorsque ce dernier intègre le scanner portable et/ou sur un écran dans le cabinet d'un professionnel de soins dentaires.

Une ou plusieurs des opérations de découpage et/ou de correction et/ou de nettoyage et/ou de correction d'apparence et/ou de simplification décrites ci-dessus peuvent être mises en œuvre

- 15 - dans le scanner portable, de préférence dans le téléphone portable incorporant le scanner portable ou en communication avec un outil d'acquisition, ou
- dans un centre de traitement informatique en communication avec ledit téléphone portable, auquel ledit téléphone portable a transmis le modèle acquis ou le modèle actualisé.
- 20 **A l'étape b)**, on détermine au moins une valeur d'un paramètre dimensionnel du modèle actualisé, ou « valeur dimensionnelle » et/ou au moins une valeur d'un paramètre d'aspect du modèle actualisé, ou « valeur d'aspect ».

L'étape b) peut être mise en œuvre dans le téléphone portable ou dans un centre de traitement, à distance du téléphone portable et auquel le téléphone portable transmet le
25 modèle actualisé.

Le modèle actualisé utilisé à l'étape b) peut être

- le modèle acquis, c'est-à-dire le modèle brut tel que le scanner portable l'a généré, ou
- une partie du modèle acquis, par exemple résultant d'un découpage informatique du modèle acquis, ou
- 30 - ledit modèle acquis après correction et/ou simplification, ou
- ladite partie du modèle acquis après correction et/ou simplification.

Une « valeur dimensionnelle » est une valeur qui dépend de la forme du modèle actualisé. Cette valeur est celle d'un « paramètre dimensionnel », qui peut être notamment choisi parmi

- une dimension du modèle actualisé, par exemple la largeur, la longueur ou la hauteur de l'arcade dentaire ou d'une dent ;
- une distance d'un point du modèle actualisé par rapport à un référentiel, ou
- un paramètre dérivé de ces dimensions et distances, par exemple un indice orthodontique, une classe d'occlusion canines/molaires, une mesure d'un surplomb vertical (en anglais « overbite ») ou d'un surplomb horizontal (en anglais « overjet »), un numéro de dent, ou une indication de la présence ou de l'absence d'une dent.

La valeur dimensionnelle peut être mesurée sur le modèle actualisé ou être obtenue à partir d'une ou plusieurs mesures réalisées sur le modèle actualisé.

Par exemple, on peut mesurer un écart entre deux dents, la position d'un point remarquable par rapport à un repère, par exemple orthonormé, fixe par rapport à l'objet actualisé (arcade ou dent en particulier) ou par rapport à une autre dent, par exemple pour évaluer l'alignement d'une dent par rapport aux autres dents, le désaxage d'une dent par rapport aux autres ou par rapport à une position prédéterminée dans le repère, le positionnement d'une ou plusieurs dents par rapport à un appareil orthodontique fixe ou amovible positionné sur les dents ou les tissus mous, l'indice d'encombrement et ou d'irrégularité de l'arcade, le désalignement d'une dent par rapport aux autres dents ou par rapport à la gencive, une déformation d'une dent, par exemple la profondeur d'une carie, une déformation de la gencive, la largeur de l'arcade ou la position relative d'une arcade par rapport à l'autre.

La valeur dimensionnelle peut être également une mesure d'une différence de forme entre le modèle actualisé et un modèle de référence. En particulier, on peut comparer les formes et/ou les positions de dents dans le modèle actualisé et dans un modèle de référence.

Une « valeur d'aspect » est une valeur qui dépend de l'aspect de la surface du modèle actualisé. Cette valeur est celle d'un « paramètre d'aspect », qui peut être notamment choisi parmi une couleur, une réflectance, une transparence, une réflectivité, une teinte, une translucidité, une opalescence, un indice sur la présence de tartre, d'une plaque dentaire ou de nourriture sur la dent.

La valeur d'aspect peut être également une mesure d'une différence d'aspect entre le modèle actualisé et un modèle de référence. En particulier, on peut comparer les aspects de dents dans le modèle actualisé et dans un modèle de référence.

Le modèle de référence est choisi en fonction de l'application visée.

- 5 Par exemple, si l'objectif est de vérifier si la situation dentaire est normale à l'instant actualisé, c'est-à-dire de vérifier qu'elle ne nécessite pas une intervention d'un professionnel de soins dentaires, notamment pour des raisons thérapeutiques ou esthétiques, le modèle de référence peut être un modèle qui représente un objet du même type que l'objet actualisé, voire l'objet actualisé, dans une situation dentaire considérée comme normale à l'instant
- 10 actualisé.

Le modèle de référence peut être représentatif d'un ensemble d'individus, de préférence comportant plus de 100 individus, de préférence plus de 1000 individus et/ou moins de 1 000 0000 individus, par exemple

- une dent issue d'un tyodont si l'objet actualisé est une dent, ou
- 15 - une arcade correspondant à une forme moyenne d'arcade pour l'ensemble des individus si l'objet actualisé est une arcade.

- Le modèle de référence peut être un modèle qui représente un objet du même type que l'objet actualisé, de préférence l'objet actualisé, mais dans une position et/ou avec une forme et/ou avec un aspect qui est celle(s)/celui de l'objet actualisé anticipé(e)(s) pour un instant de
- 20 référence, antérieur ou postérieur à l'instant actualisé ou simultané à l'instant actualisé.

L'instant de référence peut être en particulier une étape d'un traitement orthodontique subi par l'utilisateur (par exemple au début ou en fin du traitement orthodontique ou à une étape intermédiaire du traitement orthodontique, en anglais « set-up » intermédiaire, ou « staging »).

- 25 L'intervalle temporel entre les instants actualisé et de référence peut être supérieur à une semaine, de préférence supérieur à 2 semaines, à 4 semaines, à 6 semaines, à 2 mois et/ou inférieur à 6 mois.

- Le modèle de référence peut être obtenu au moyen d'un scanner, par exemple avec le scanner portable par l'utilisateur, de préférence au moyen d'un scanner professionnel, ou être obtenu
- 30 par construction à partir de photos de l'arcade et d'une bibliothèque de dents historiques, comme décrit dans EP18184486, équivalent à US16/031,172.

Le modèle de référence est de préférence obtenu obtenu par simulation informatique, de manière qu'il représente l'arcade dentaire dans la configuration prévue à l'instant de référence, notamment à la fin d'un traitement orthodontique ou à l'instant actualisé.

Par exemple, il peut résulter d'une modification d'un modèle initial, par exemple généré au
5 moyen d'un scan d'une arcade de l'utilisateur, de préférence généré plus d'une semaine avant l'instant actualisé, par exemple au début d'un traitement orthodontique. Le modèle initial est classiquement découpé de manière à définir des modèles de dent. Le déplacement des modèles de dent permet ensuite de simuler le déroulement du traitement orthodontique.

Un exemple de logiciel permettant de manipuler les modèles de dent et créer un scénario de
10 traitement est le programme Treat, décrit sur la page https://en.wikipedia.org/wiki/Clear_aligners#cite_note-invisalignsystem-10. US5975893A décrit également la création d'un scénario de traitement.

Dans un mode de réalisation, on procède à :

- un découpage du modèle de référence réalisé antérieurement à l'instant actualisé ou du
15 modèle actualisé, de manière à générer des modèles de dent,
- un déplacement d'un ou plusieurs dits modèles de dent, sans déformation des modèles de dent, jusqu'à à obtenir un modèle modifié présentant une concordance de forme maximale avec le modèle actualisé ou de référence, respectivement,
- une évaluation de la différence de positionnement (détermination d'au moins une valeur
20 dimensionnelle) d'au moins un modèle de dent entre sa position dans le modèle de référence ou actualisé, respectivement, et sa position dans le modèle modifié.

A l'étape c), la valeur dimensionnelle et/ou la valeur d'aspect déterminées à l'étape b) est/sont utilisée(s), en particulier pour décider si une action à des fins thérapeutiques ou esthétiques est nécessaire et/ou pour contribuer à la détermination de cette action.

25 La valeur dimensionnelle et/ou la valeur d'aspect, et de préférence le modèle actualisé peuvent être présentés à l'utilisateur, par exemple en étant affichés sur l'écran de son téléphone portable.

En complément ou alternativement, ils peuvent être aussi transmis, de préférence par voie hertzienne, de préférence par un téléphone portable intégrant le scanner portable ou en
30 communication avec l'outil d'acquisition, à un professionnel de soins dentaires, en particulier un orthodontiste ou à un ordinateur distant en communication avec le téléphone portable.

De préférence, la valeur dimensionnelle et/ou la valeur d'aspect est/sont interprétées, de préférence par ordinateur, de préférence par un téléphone portable intégrant le scanner portable, et une recommandation est présentée à l'utilisateur, de préférence sur l'écran de son téléphone portable.

5 Utilisation d'images actualisées

Dans un mode de réalisation, particulièrement avantageux, à l'étape a), l'utilisateur acquiert, outre le modèle actualisé, un ou plusieurs images « actualisées », de préférence extra-orales. De préférence, il utilise le téléphone portable mis en œuvre pour acquérir le modèle acquis.

De préférence, les images actualisées sont des photographies ou des images extraites d'un film. Elles sont de préférence en couleurs, de préférence en couleurs réelles. De préférence, elles représentent les arcades dentaires sensiblement comme les voit l'opérateur de l'appareil d'acquisition de ces images.

L'information fournie par les images actualisées permet de compléter celle fournie par le modèle acquis. L'information peut être en particulier relative à une dimension et/ou à l'aspect d'un ou plusieurs objets, de préférence des dents, représentés sur la ou les images actualisées. En particulier, l'analyse d'une image actualisée, de préférence par ordinateur, permet de confirmer et/ou corriger une valeur dimensionnelle et/ou une valeur d'aspect déterminée à partir du modèle actualisé, et/ou de compléter l'enseignement tiré du modèle actualisé.

Par exemple, le modèle actualisé peut permettre la détection d'une cavité à la surface d'une dent et une image actualisée peut faire apparaître une zone plus sombre à l'endroit de cette cavité. L'image actualisée confirme ainsi la présence de la cavité. Elle permet aussi de confirmer sa position. L'analyse du modèle et des images actualisées permet ainsi de détecter, et de suivre l'évolution, de caries.

Les images actualisées peuvent également apporter, de manière très fiable, des informations sur l'aspect des dents, par exemple sur leurs couleurs. Projetées sur le modèle actualisé, elles permettent ainsi de colorer la surface du modèle actualisé de manière très réaliste.

De préférence encore, on acquiert plusieurs images actualisées prises selon des angulations différentes, c'est-à-dire avec des orientations différentes de l'appareil d'acquisition par rapport à la cavité buccale de l'utilisateur. Par exemple, l'ensemble d'images actualisées peut comporter 6 images représentant les arcades dentaires « vues de face », « vues de face-droite

», « vues de droite », « vues de face-gauche », « vues de gauche » et « vues de dessous », respectivement.

De préférence, au moins une image actualisée est acquise face à l'utilisateur (vue de face). De préférence, au moins une image actualisée est acquise depuis la droite de l'utilisateur, et
5 au moins une image actualisée est acquise depuis la gauche de l'utilisateur.

L'ensemble d'images actualisées comporte de préférence plus de deux, de préférence plus de trois, de préférence plus de 5, de préférence plus de 6 et/ou moins de 30, de préférence moins de 20, de préférence moins de 15, de préférence moins de 10 images actualisées.

Dans un mode de réalisation, les images actualisées sont traitées pour générer un dit
10 modèle de correction et/ou un dit modèle de référence. A cet effet, on peut mettre en œuvre toutes les techniques conventionnelles.

L'acquisition de deux modèles à l'instant actualisé, à savoir le modèle actualisé et un modèle obtenu à partir d'images actualisées, puis la comparaison de ces modèles permettent
15 avantageusement d'exploiter au mieux les représentations 3D et 2D fournies par le scanner portable et l'appareil d'acquisition des images, respectivement.

Le procédé peut être mis en œuvre indépendamment de tout traitement orthodontique, notamment pour surveiller que la position et/ou la forme des dents ne sont pas « anormales », c'est-à-dire lorsqu'elles ne respectent pas une norme thérapeutique ou esthétique. De
20 préférence, un rendez-vous chez un professionnel de soins dentaires doit alors être pris. Le procédé peut être mis en œuvre avant un traitement orthodontique.

En amont d'un traitement orthodontique, le procédé peut être notamment mis en œuvre pour acquérir le positionnement et l'anatomie des dents du futur patient et lancer la fabrication d'un appareil orthodontique interceptif ou d'un appareil orthodontique sur-mesure, par
25 exemple des gouttières orthodontiques transparentes, ou concevoir un traitement individualisé par arc et attaches (« brackets »).

Le procédé peut être mis en œuvre pendant un traitement orthodontique, en particulier pour en contrôler le déroulement, l'étape a) étant mise en œuvre moins de 3 mois, moins de 2
30 mois, moins de 1 mois, moins d'une semaine, moins de 2 jours après le début du traitement, c'est-à-dire après la pose d'un appareil destiné à corriger le positionnement des dents de l'utilisateur, dit « appareil de contention actif ».

Pendant un traitement orthodontique, le procédé peut être mis en œuvre pour acquérir un modèle actualisé des dents et permettre la fabrication d'un nouvel appareil orthodontique, par exemple d'un implant, d'une gouttière orthodontique, ou d'un appareil orthodontique vestibulaire.

- 5 De préférence, le modèle actualisé généré à l'étape a) et/ou la ou les valeurs déterminées à l'étape b) est/sont transmis à un professionnel de soins dentaires pour l'aider à établir un diagnostic.

Le procédé peut être également mis en œuvre après un traitement orthodontique, pour vérifier que le positionnement des dents n'évolue pas de façon défavorable (« récidence »).

- 10 L'étape a) est alors de préférence mise en œuvre moins de 3 mois, moins de 2 mois, moins de 1 mois, moins d'une semaine, moins de 2 jours après la fin du traitement, c'est-à-dire après la pose d'un appareil destiné maintenir les dents en position, dit « appareil de contention passif ».

La valeur dimensionnelle est de préférence utilisée pour

- 15 - détecter une récidence, et/ou
- déterminer une vitesse d'évolution d'un changement de positionnement des dents, et/ou
- optimiser la date de prise de rendez-vous chez un professionnel de soins dentaires, et/ou
- évaluer l'efficacité d'un traitement orthodontique, et/ou
- évaluer l'évolution du positionnement de dents vers un modèle de référence
- 20 correspondant à un positionnement déterminé des dents, en particulier un positionnement amélioré des dents, et/ou
- modifier un traitement orthodontique en cours, par exemple en fabriquant une nouvelle série de gouttières orthodontiques, et/ou
- en dentisterie, et/ou
- 25 - visualiser et/ou mesurer et/ou détecter une plaque dentaire, et/ou une carie, et/ou une microfissure, et/ou une usure, par exemple résultant de bruxisme ou de la mise en œuvre d'un appareil orthodontique, actif ou passif, notamment en cas de rupture ou de détachement d'un arc orthodontique ;
- visualiser et/ou mesurer et/ou détecter un changement de volume, en particulier lors de la
- 30 croissance des dents ou suite à une intervention d'un professionnel de soins dentaires, par exemple un dépôt de colle à la surface des dents ;

- évaluer l'opportunité d'un traitement interceptif, avant tout traitement orthodontique, notamment pour évaluer l'intérêt d'un traitement orthodontique.

La valeur d'aspect est de préférence utilisée pour détecter ou évaluer une position ou une forme d'une tâche ou d'une carie.

- 5 Dans un mode de réalisation particulièrement avantageux, on utilise à la fois la valeur dimensionnelle et la valeur d'aspect. Avantageusement, le procédé peut être ainsi utilisé pour un suivi précis et localisé de l'évolution de certaines pathologies, en particulier de tâches, déminéralisations, ou caries.

10 Comme cela apparaît clairement à présent, l'invention fournit un procédé permettant à un utilisateur particulier, par exemple un patient, de générer un modèle d'une ou plusieurs de ses arcades, ou d'une ou plusieurs de ses dents. Il n'a besoin d'aucun matériel spécifique, sinon le scanner portable, qui est de préférence intégré dans son téléphone portable.

15 Le modèle acquis peut être acquis sans introduire le scanner portable dans la bouche de l'utilisateur, c'est-à-dire de manière extra-orale. Le traitement du modèle actualisé pour le corriger permet en particulier de le corriger pour modéliser des régions de la bouche auxquelles le scanner portable n'a pas eu accès, par exemple dans un espace interproximal.

20 Dans un mode de réalisation, à l'étape a), le modèle acquis est grossier. Il peut en particulier représenter un « squelette 3D » de la ou des arcades dentaires de l'utilisateur, et ne comporter que moins de 500 points, moins de 200 points, moins de 100 points ou moins de 50 points et/ou plus de 10 points. Le traitement du modèle actualisé pour le corriger, en particulier avec un réseau de neurones ou à partir d'une bibliothèque historique, permet avantageusement de reconstituer un modèle beaucoup plus précis de la ou des arcades dentaires de l'utilisateur.

25 Dans un mode de réalisation, le scanner portable est partiellement introduit dans la bouche de l'utilisateur. Avantageusement, les intrados des dents peuvent être scannés.

Comme représenté sur la figure 10, de préférence, le scanner portable 6 comporte un téléphone portable 12 et un outil d'acquisition 31 en communication avec le téléphone portable, de préférence par voie hertzienne, de préférence par Bluetooth®. Une communication par câble est également possible.

30 L'outil d'acquisition est pourvu d'une tête d'acquisition 32 qui peut être introduite dans la bouche de l'utilisateur. La tête d'acquisition acquiert le modèle acquis et le transmet au

téléphone portable 12, ou acquiert un signal, par exemple un ensemble d'images, et le transfère au téléphone portable 12 pour que ce dernier génère le modèle acquis à partir dudit signal.

De préférence, l'outil d'acquisition ne comporte pas de lien physique avec le téléphone portable ou est relié au téléphone portable par un lien souple, par exemple un câble.

De préférence, l'outil d'acquisition comporte un manche 34 facilitant sa manipulation, par l'utilisateur lui-même ou l'un de ses proches, par exemple à la manière d'une brosse à dents.

Dans un mode de réalisation, l'outil d'acquisition est fixé sur le téléphone portable, par exemple au moyen d'un clips, d'une bande auto-agrippante, de mâchoires de serrage, d'une vis, d'un aimant, d'un capot ou d'une bande flexible, de préférence élastique. La fixation peut également résulter d'une complémentarité de forme avec le téléphone portable. Par exemple, l'outil d'acquisition peut être fixé sur une coque de téléphone.

Dans un mode de réalisation, le procédé met encore en œuvre une tête de mesure en communication avec le téléphone portable et qui est introduite dans la bouche de l'utilisateur afin d'acquérir des données complémentaires, par exemple des données sur

- l'espace interdentaires des dents
- les faces linguales des dents
- le palais incluant par exemple la suture médiane palatine
- les tissus mous (aphte, lésions bénignes ou malignes, récessions,)
- 20 - la teinte des dents
- la présence de caries ou tâches
- l'état et/ou la forme des implants, couronnes et/ou bridges
- l'état des appareils de traitement vestibulaires ou linguaux (ex : brackets linguaux, vestibulaires, disjoncteur maxillaire ou tout autre auxiliaire de traitement) ou de
- 25 - contention (arc palatin)
- les distances entre les différentes parties d'un même appareillage vestibulaires, linguaux ou tout autre auxiliaire
- état des dispositifs d'ancrage (type mini-vis)
- distance entre les dispositifs d'ancrage et les appareils en présence dans la bouche
- 30 - des points de suture de tissus mous
- la cicatrisation de tissus mous post-chirurgie
- la courbe de spee

- la courbe de wilson
- la distance intercanine
- la distance intermolaire

La figure 11 présente différents clichés apportant des données complémentaires, en particulier sur le palais incluant une suture médiane palatine (image 1), des points de suture de tissus mous (image 2), des distances entre les différentes parties d'un même appareillage vestibulaires, linguaux ou tout autre auxiliaire (images 3 et 4), l'état et/ou la forme des implants, couronnes et/ou bridges (images 5 et 8), l'état des dispositifs d'ancrage (type mini-vis) et la distance entre les dispositifs d'ancrage et les appareils en présence dans la bouche (image 6), l'état des appareils de traitement vestibulaires ou linguaux (par exemple brackets linguaux, vestibulaires, disjoncteur maxillaire ou tout autre auxiliaire de traitement) ou de contention (arc palatin) (image 7), l'espace interdentaire et la cicatrisation de tissus mous post-chirurgie (image 9), les faces linguales des dents (image 10), la distance intercanine et la distance intermolaire (image 10), la teinte des dents (image 11), la courbe de Spee (image 12), la courbe de Wilson (image 13), et la présence de caries ou tâches (image 14).

La tête de mesure peut être intégrée dans un outil de mesure présentant une ou plusieurs des caractéristiques de l'outil d'acquisition. A la différence de ce dernier, l'outil de mesure ne sert cependant pas à l'acquisition du modèle acquis.

Le modèle acquis peut être ensuite corrigé en particulier pour être complété et/ou nettoyé et/ou rendu hyperréaliste. L'utilisateur peut transmettre à un professionnel de soins dentaires, éventuellement à un professionnel de soins dentaires qu'il n'a jamais rencontré, un modèle que le professionnel de soins dentaires peut analyser, en particulier pour établir un diagnostic et/ou pour adresser des conseils à l'utilisateur et/ou pour définir une date de rendez-vous.

Bien entendu, l'invention n'est pas limitée aux modes de réalisation décrits et représentés.

Les procédés de correction et de simplification du modèle actualisé décrits ci-dessus sont des inventions, indépendamment du procédé de description.

Perfectionnements

Au-delà du procédé décrit ci-dessus et de manière plus générale, l'invention porte également sur un procédé d'acquisition d'au moins une image d'au moins une arcade dentaire d'un utilisateur au moyen d'un téléphone portable et d'un outil d'acquisition comportant une tête d'acquisition pourvue d'une caméra, de préférence apte à être

introduite dans la bouche de l'utilisateur, procédé dans lequel la tête d'acquisition :

- acquiert ladite image et la transmet au téléphone portable, ou
- acquiert un signal et le transfère au téléphone portable pour que ledit téléphone

portable génère l'image à partir dudit signal, en autonomie ou avec l'aide d'un ordinateur
5 avec lequel ledit téléphone portable est en communication.

Ladite au moins une image est de préférence une photo, de préférence une photo
représentant l'arcade dentaire de manière réaliste, comme l'observerait directement une
personne.

L'image peut servir à la génération d'un modèle comme suivant l'étape a), mais le procédé
10 d'acquisition d'images selon l'invention n'est plus limité à ce mode de réalisation
particulier, l'image pouvant être utilisée à d'autres fins. Ce procédé est donc qualifié ci-
dessous de « procédé généralisé ».

Dans la mesure où une caractéristique décrite ci-dessus pour l'étape a) est techniquement
compatible avec le procédé généralisé, elle peut cependant être appliquée à ce procédé.

15 Le téléphone portable et l'outil d'acquisition sont de préférence exclusivement manipulés
par l'utilisateur.

L'acquisition peut être réalisée de manière extraorale, la caméra de l'outil d'acquisition ne
pénétrant pas dans la bouche de l'utilisateur. L'acquisition peut être réalisée de manière
intraorale, la caméra de l'outil d'acquisition pénétrant dans la bouche de l'utilisateur.

20 Dans un mode de réalisation, l'outil d'acquisition est fixé sur le téléphone portable, par
exemple au moyen d'un clips, d'une bande auto-agrippante, de mâchoires de serrage, d'une
vis, d'un aimant, d'un capot ou d'une bande flexible, de préférence élastique. La fixation
peut également résulter d'une complémentarité de forme avec le téléphone portable. Par
exemple, l'outil d'acquisition peut être fixé sur une coque de téléphone.

25 De préférence cependant, le téléphone portable et l'outil d'acquisition communiquent l'un
avec l'autre, mais sont déplaçables indépendamment l'un de l'autre. De préférence, aucun
dispositif rigide, de préférence aucun mécanisme ne relie entre eux le téléphone portable et
l'outil d'acquisition de sorte que le téléphone portable peut être déplacé dans l'espace, de
préférence dans toutes les dimensions de l'espace, sans entraîner nécessairement avec lui
30 l'outil d'acquisition.

De préférence, l'écran affiche la scène observée par la caméra de la tête d'acquisition.

L'indépendance de mouvement entre le téléphone portable et l'outil d'acquisition permet en particulier d'utiliser l'écran du téléphone portable pour visualiser la scène observée par la caméra de la tête d'acquisition, sans que cette visualisation soit gênée par la manipulation de la tête d'acquisition.

- 5 Dans un mode de réalisation, pendant l'acquisition, l'utilisateur observe l'écran du téléphone portable, le téléphone portable étant de préférence immobile par rapport au sol, par exemple posé sur une table, et manipule l'outil d'acquisition. Il peut ainsi facilement positionner l'outil d'acquisition dans une position souhaitée, de préférence pour une acquisition extraorale. En outre, ce mode de réalisation permet avantageusement à
- 10 l'utilisateur d'utiliser la caméra du téléphone portable disposée du côté opposé à l'écran, sans avoir à utiliser un miroir.

De préférence, l'utilisateur acquiert au moins une image vue de face, de préférence au moins une image depuis la droite de l'utilisateur, et, de préférence encore, au moins une image depuis la gauche de l'utilisateur.

- 15 De préférence, l'utilisateur acquiert au moins une image bouche ouverte et au moins une image bouche fermée.

L'ensemble des images acquises comporte de préférence plus de deux, de préférence plus de trois, de préférence plus de 5, de préférence plus de 6 et/ou moins de 30, de préférence moins de 20, de préférence moins de 15, de préférence moins de 10 images.

- 20 De préférence, l'utilisateur utilise un outil pour dégager ses lèvres, et mieux exposer l'arcade dentaire à caméra de l'outil d'acquisition. L'outil peut être par exemple une cuillère introduite dans sa bouche.

Dans un mode de réalisation, il utilise un écarteur qu'il introduit partiellement dans sa bouche.

- 25 De préférence, le procédé généralisé comporte, après ladite acquisition, une analyse de ladite image afin de définir la situation dentaire de l'utilisateur, et de préférence concevoir un plan de traitement orthodontique actif ou passif, et/ou pour vérifier le bon déroulement d'un traitement orthodontique actif ou passif en cours.

- De préférence, le procédé d'acquisition comporte, après ladite analyse de ladite image, la
- 30 fabrication d'un appareil orthodontique, par exemple une gouttière orthodontique, et de préférence l'envoi dudit appareil orthodontique à l'utilisateur.

Les utilisations mentionnées ci-dessus pour les images actualisées peuvent être également appliquées à l'image ou aux images acquises suivant le procédé généralisé.

Ladite au moins une image est de préférence utilisée pour

- détecter une récurrence, et/ou
- 5 - déterminer une vitesse d'évolution d'un changement de positionnement des dents, et/ou
- optimiser la date de prise de rendez-vous chez un professionnel de soins dentaires, et/ou
- évaluer l'efficacité d'un traitement orthodontique, et/ou
- évaluer l'évolution du positionnement de dents vers un modèle de référence correspondant à un positionnement déterminé des dents, en particulier un positionnement
- 10 amélioré des dents, et/ou
- modifier un traitement orthodontique en cours, par exemple en fabriquant une nouvelle série de gouttières orthodontiques, et/ou
- en dentisterie, et/ou
- visualiser et/ou mesurer et/ou détecter une plaque dentaire, et/ou une carie, et/ou une
- 15 microfissure, et/ou une usure, par exemple résultant de bruxisme ou de la mise en œuvre d'un appareil orthodontique, actif ou passif, notamment en cas de rupture ou de détachement d'un arc orthodontique ;
- visualiser et/ou mesurer et/ou détecter un changement de volume, en particulier lors de la croissance des dents ou suite à une intervention d'un professionnel de soins dentaires, par
- 20 exemple un dépôt de colle à la surface des dents ;
- évaluer l'opportunité d'un traitement interceptif, avant tout traitement orthodontique, notamment pour évaluer l'intérêt d'un traitement orthodontique.

La figure 12 illustre un dispositif 6' pour la mise en œuvre d'un tel procédé d'acquisition d'une image. Ce kit comporte un téléphone portable 12' et un outil d'acquisition 31' en

25 communication avec le téléphone portable, de préférence par voie hertzienne, de préférence par Bluetooth® ou WiFi. Une communication par câble est également possible.

L'outil d'acquisition 31' est pourvu d'une tête d'acquisition 32' qui peut être introduite dans la bouche de l'utilisateur. La tête d'acquisition comporte une caméra 33' qui acquiert l'image et la transmet au téléphone portable 12', ou acquiert un signal et le transfère au téléphone

30 portable 12' pour que ce dernier génère l'image à partir dudit signal.

De préférence, l'outil d'acquisition ne comporte pas de lien physique avec le téléphone portable ou est relié au téléphone portable par un lien souple, par exemple un câble.

De préférence, l'outil d'acquisition comporte un manche 34' facilitant sa manipulation, par l'utilisateur lui-même ou l'un de ses proches, par exemple à la manière d'une brosse à dents.

Le téléphone portable 12' peut comporter une ou plusieurs des caractéristiques du téléphone portable 12. De préférence, il n'est fixé sur aucun support, et en particulier sur aucun support
5 fixé sur l'utilisateur comme le support10 décrit ci-dessus, et l'utilisateur peut le manipuler librement.

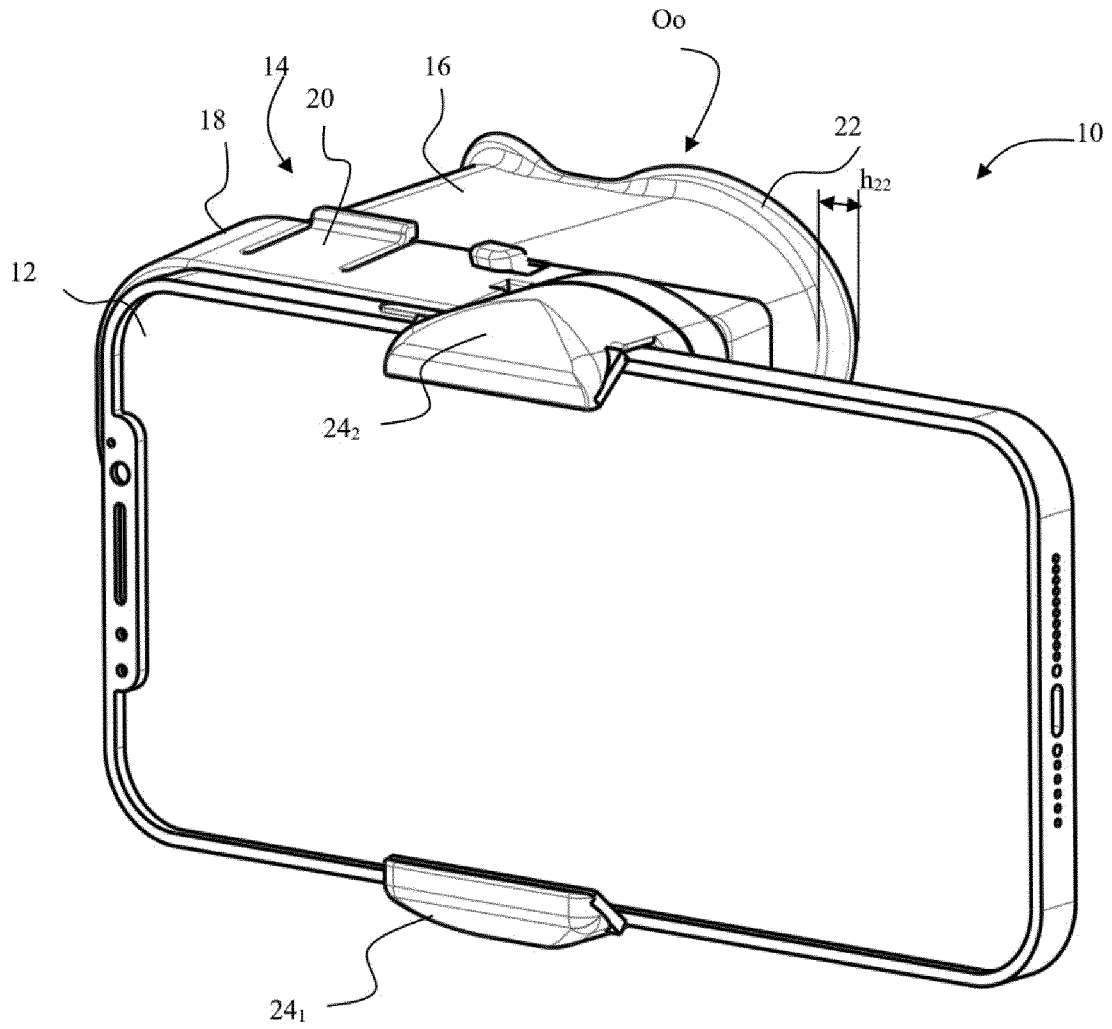
Revendications

1. Procédé d'acquisition d'au moins une image d'au moins une arcade dentaire d'un utilisateur (U) au moyen d'un téléphone portable (12') et d'un outil d'acquisition (31') comportant une tête d'acquisition (32') pourvue d'une caméra (33'), procédé dans
5 lequel la tête d'acquisition :
 - acquiert ladite image et la transmet au téléphone portable, ou
 - acquiert un signal et le transfère au téléphone portable pour que ledit téléphone portable génère l'image à partir dudit signal, en autonomie ou avec l'aide d'un ordinateur avec lequel ledit téléphone portable est en communication,
10 ladite au moins une image étant une photo ou une image extraite d'un film.
2. Procédé selon la revendication précédente, dans lequel le téléphone portable (12') et l'outil d'acquisition (31') sont exclusivement manipulés par l'utilisateur.
3. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'acquisition est réalisée de manière extraorale, la caméra de l'outil d'acquisition ne
15 pénétrant pas dans la bouche de l'utilisateur.
4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 2, dans lequel l'acquisition est réalisée de manière intraorale, la caméra de l'outil d'acquisition pénétrant dans la bouche de l'utilisateur.
5. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le
20 téléphone portable et l'outil d'acquisition sont déplaçables indépendamment l'un de l'autre.
6. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel, pendant l'acquisition, l'utilisateur observe l'écran du téléphone portable pour visualiser la scène observée par la caméra de la tête d'acquisition.
7. Procédé selon la revendication immédiatement précédente, dans lequel pendant
25 l'acquisition, le téléphone portable est immobile par rapport au sol et l'utilisateur manipule l'outil d'acquisition.
8. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'utilisateur acquiert au moins une image vue de face, au moins une image depuis la droite de

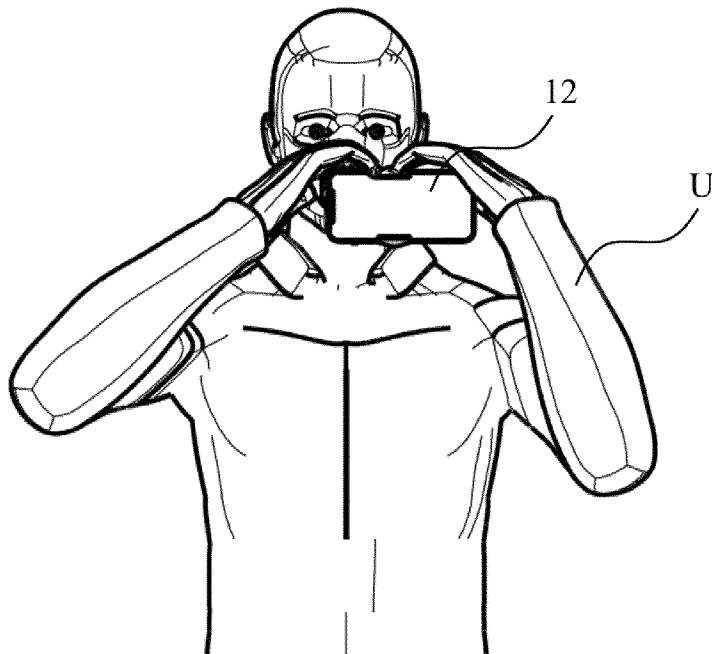
l'utilisateur, au moins une image depuis la gauche de l'utilisateur, au moins une image bouche ouverte et au moins une image bouche fermée.

- 5 9. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'utilisateur utilise un outil pour dégager ses lèvres et mieux exposer l'arcade dentaire à la caméra de l'outil d'acquisition.
10. Procédé selon la revendication immédiatement précédente, dans lequel ledit outil est un écarteur.
11. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'outil d'acquisition est en communication avec le téléphone portable par voie hertzienne.
- 10 12. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel on utilise ladite au moins une image pour
- déterminer une vitesse d'évolution d'un changement de positionnement des dents, et/ou
 - optimiser la date de prise de rendez-vous chez un professionnel de soins dentaires, et/ou
 - 15 - évaluer l'évolution du positionnement de dents vers un modèle de référence correspondant à un positionnement déterminé des dents, et/ou
 - visualiser et/ou mesurer et/ou détecter une microfissure, et/ou une usure, et/ou
 - 20 - visualiser et/ou mesurer et/ou détecter un changement de volume lors de la croissance des dents ou suite à une intervention d'un professionnel de soins dentaires.
13. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'image sert à la génération d'un modèle tridimensionnel numérique.

[Fig 1]



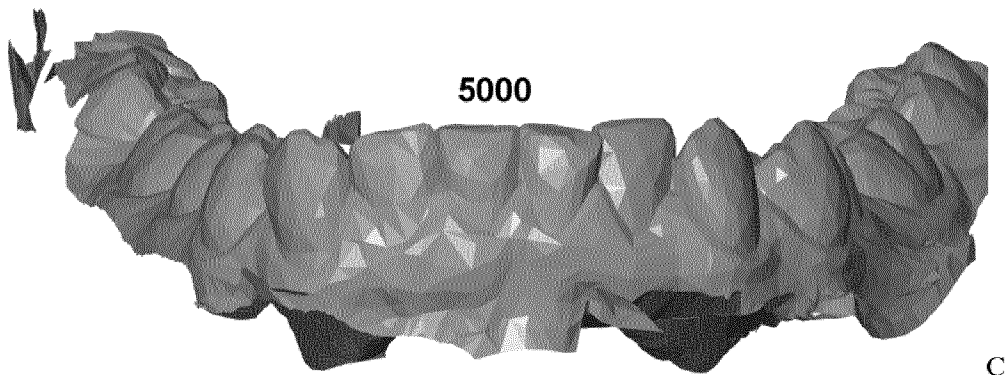
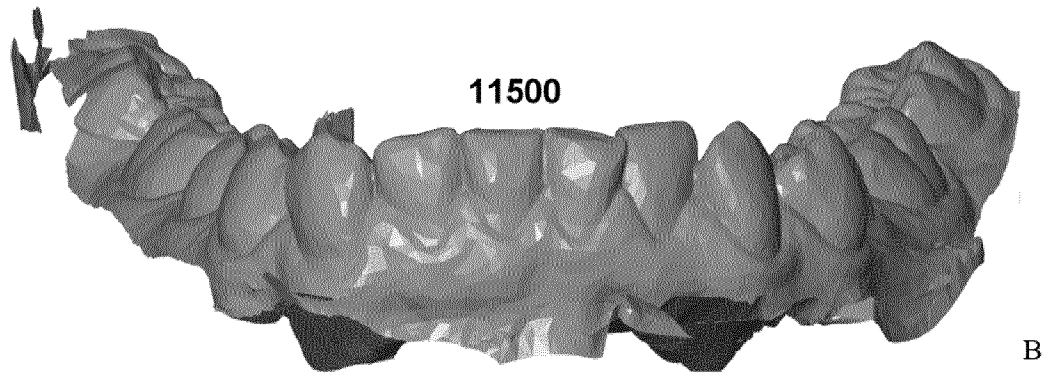
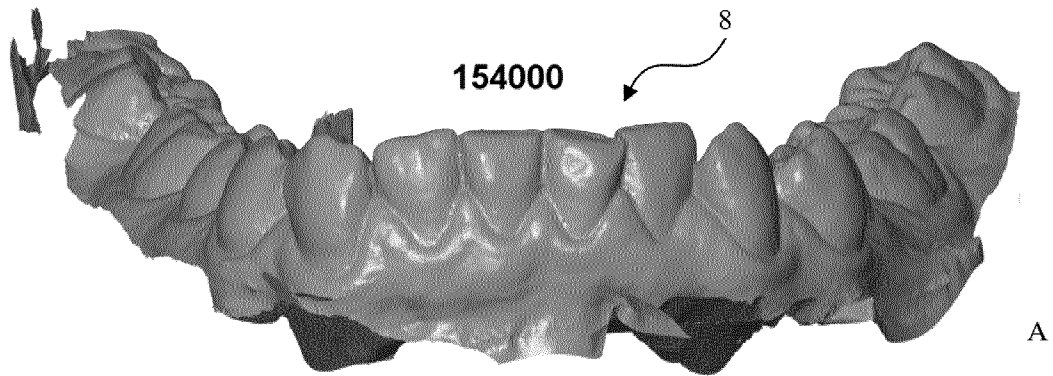
[Fig 2]



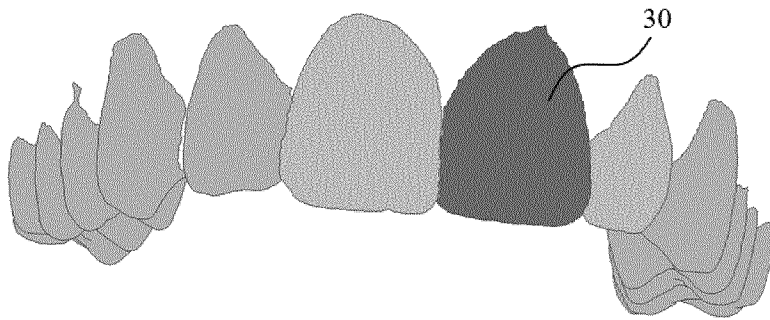
[Fig 3]



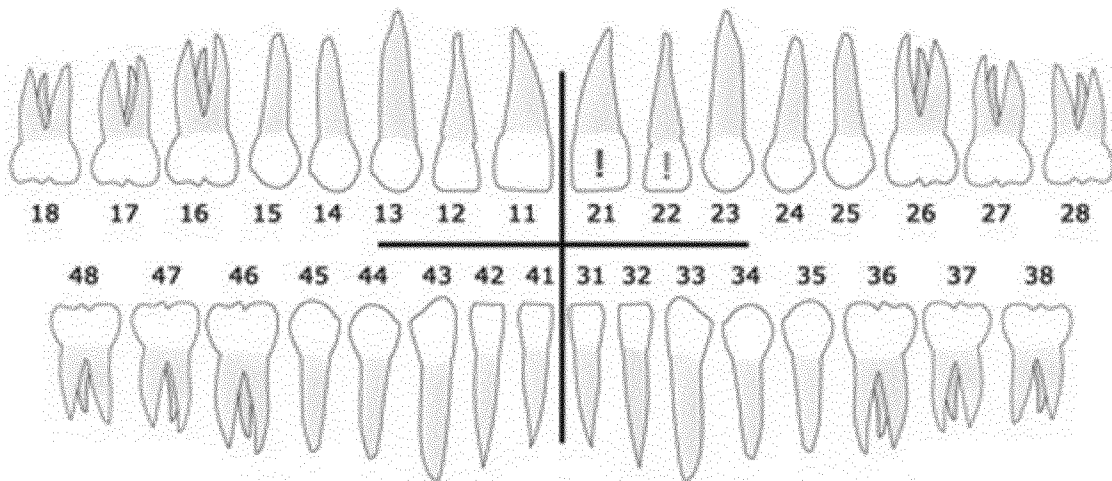
[Fig 4]



[Fig 5]



[Fig 6]



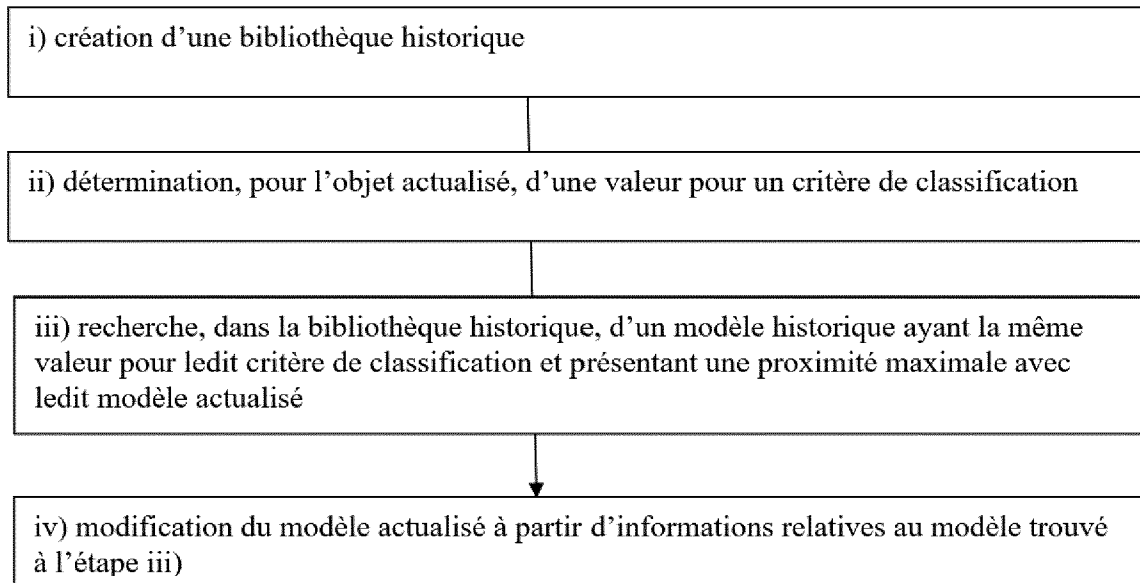
[Fig 7]

a) acquisition extraorale, avec un scanner portable, par l'utilisateur, d'un modèle actualisé de l'arcade de l'utilisateur

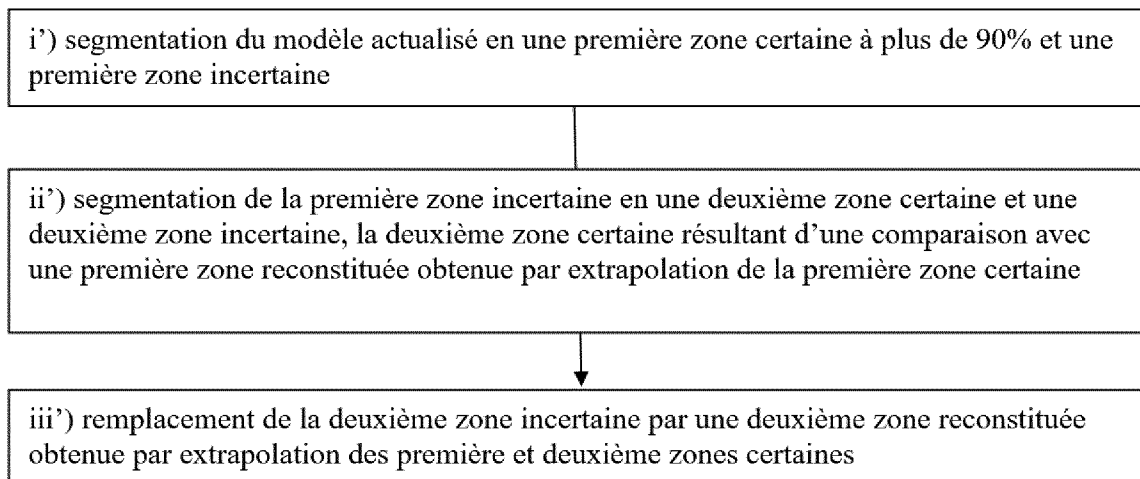
b) détermination d'au moins une valeur d'un paramètre dimensionnel du modèle actualisé, ou « valeur dimensionnelle », et de préférence présentation à l'utilisateur

c) analyse de la valeur dimensionnelle

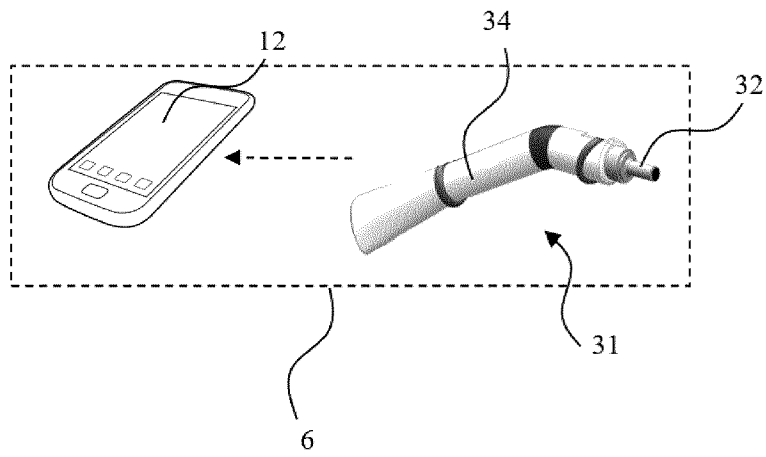
[Fig 8]



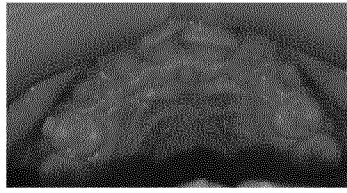
[Fig 9]



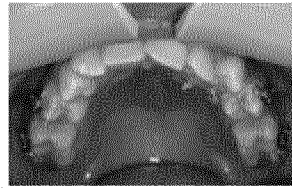
[Fig 10]



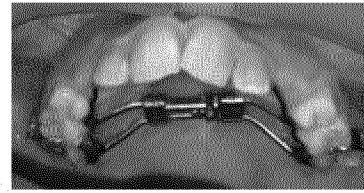
[Fig 11]



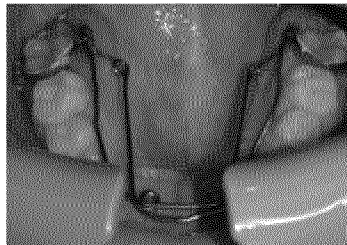
1



2



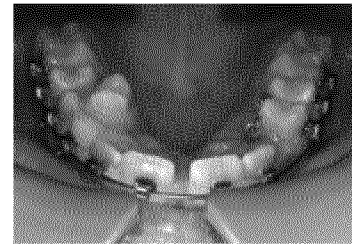
3



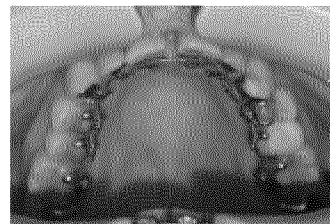
4



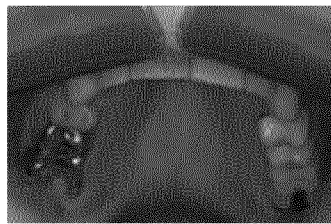
5



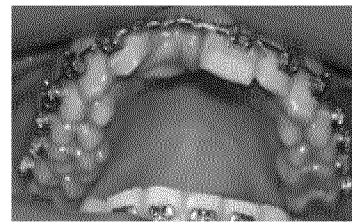
6



7



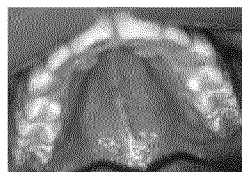
8



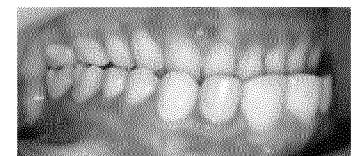
9



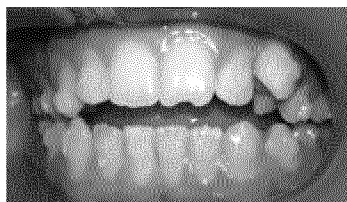
10



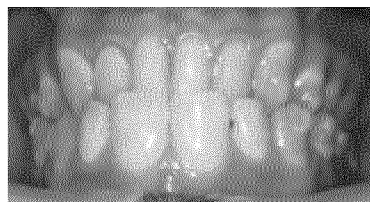
11



12

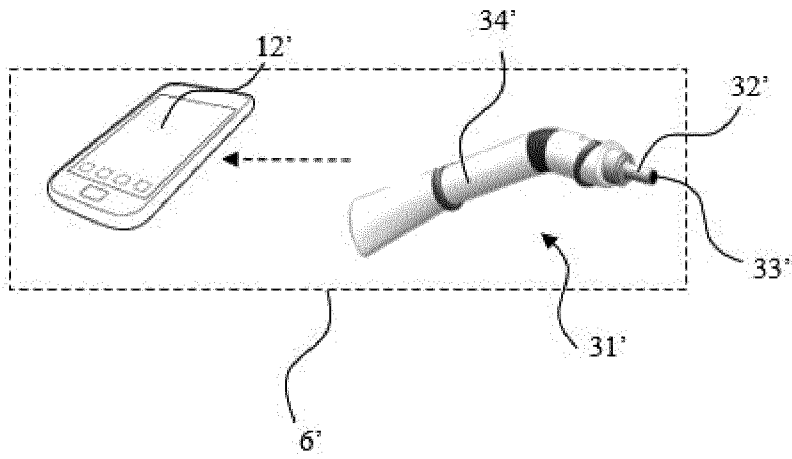


13



14

[Fig 12]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2023/063808

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
G06T 7/00 (2017.01)i; A61B 1/24 (2006.01)i; G06T 17/00 (2006.01)i; G06T 1/00 (2006.01)i; A61B 1/32 (2006.01)i		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G06T; A61B		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	Dentalkart. "How to use IntraOral Camera Orkki IntraOral Camera With WiFi" 05 October 2021 (2021-10-05), Retrieved from the Internet: https://www.youtube.com/watch?v=cctf9kzgTAg [retrieved on 2023-08-07] XP093071441	1-8,11
Y	the whole document	9,10,12,13
Y	MORRIS RYAN S ET AL. "Accuracy of Dental Monitoring 3D digital dental models using photograph and video mode" <i>AMERICAN JOURNAL OF ORTHODONTICS & DENTOFACIAL ORTHOPEDICS, ELSEVIER, AMSTERDAM, NL</i> , Vol. 156, No. 3, 01 September 2019 (2019-09-01), pages 420-428 DOI: 10.1016/J.AJODO.2019.02.014 ISSN: 0889-5406, XP085799551	9,10,12,13
A	abstract page 422; figure 1	1-8,11
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> <p>"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</p> <p>"&" document member of the same patent family</p>		
Date of the actual completion of the international search 08 August 2023		Date of mailing of the international search report 16 August 2023
Name and mailing address of the ISA/EP European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer Millet, Christophe Telephone No.

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/EP2023/063808

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. G06T7/00 A61B1/24 G06T17/00 G06T1/00 A61B1/32 ADD.		
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) G06T A61B		
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche		
Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	Dentalkart: "How to use IntraOral Camera Orkki IntraOral Camera With WiFi", / 5 octobre 2021 (2021-10-05), XP093071441, Extrait de l'Internet: URL: https://www.youtube.com/watch?v=cctf9kzgtAg [extrait le 2023-08-07]	1-8, 11
Y	le document en entier ----- -/--	9, 10, 12, 13
<input checked="" type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents <input type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe		
* Catégories spéciales de documents cités:		
"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée) "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée	"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier "&" document qui fait partie de la même famille de brevets	
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée 8 août 2023	Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale 16/08/2023	
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Fonctionnaire autorisé Millet, Christophe	

1

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	MORRIS RYAN S ET AL: "Accuracy of Dental Monitoring 3D digital dental models using photograph and video mode", AMERICAN JOURNAL OF ORTHODONTICS & DENTOFACIAL ORTHOPEDICS, ELSEVIER, AMSTERDAM, NL, vol. 156, no. 3, 1 septembre 2019 (2019-09-01), pages 420-428, XP085799551, ISSN: 0889-5406, DOI: 10.1016/J.AJODO.2019.02.014	9, 10, 12, 13
A	abrégé page 422; figure 1 -----	1-8, 11