

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

①1 N° de publication : **3 117 765**

(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

②1 N° d'enregistrement national : **20 13872**

⑤1 Int Cl⁸ : **A 61 B 5/103** (2020.12), G 16 H 50/30, G 16 H 50/
20, G 06 N 20/00

⑫

BREVET D'INVENTION

B1

⑤4 Procédé standardisé de détermination d'un indice d'apnées+hypopnées ou d'une labélisation fonction de cet indice.

②2 Date de dépôt : 22.12.20.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public
de la demande : 24.06.22 Bulletin 22/25.

④5 Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 24.02.23 Bulletin 23/08.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑥0 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦1 Demandeur(s) : UNIVERSITE GRENOBLE ALPES
Etablissement public national à caractère scientifique
culturel et professionnel —FR, INSTITUT NATIONAL
DE LA SANTE ET DE LA RECHERCHE MEDICALE
Etablissement public national à caractère administratif
FR, CENTRE HOSPITALIER UNIVERSITAIRE
GRENOBLE ALPES Etablissement d'hospitalisation
FR et UNIVERSITE DE BOURGOGNE Etablissement
public national à caractère scientifique culturel et
professionnel — FR.

⑦2 Inventeur(s) : SANCHEZ Lionel, MONNA Fabrice et
PEPIN Jean-Louis.

⑦3 Titulaire(s) : UNIVERSITE GRENOBLE ALPES
(EPSCP), INSTITUT NATIONAL DE LA SANTE ET DE
LA RECHERCHE MEDICALE (EPA), CENTRE
HOSPITALIER UNIVERSITAIRE GRENOBLE ALPES
Etablissement d'hospitalisation, UNIVERSITE DE
BOURGOGNE (EPSCP).

⑦4 Mandataire(s) : CABINET HAUTIER.

FR 3 117 765 - B1



Description

Titre de l'invention : Procédé standardisé de détermination d'un indice d'apnées+hypopnées ou d'une labélisation fonction de cet indice

Domaine technique

[0001] La présente invention concerne le domaine du diagnostic de pathologies à partir à partir de caractéristiques morphologiques maxillo-faciales avec l'assistance d'un apprentissage automatique d'analyse d'image. Elle trouve pour application particulièrement avantageuse le diagnostic du syndrome d'apnées obstructives du sommeil ou de pathologies pour lesquelles un syndrome d'apnées du sommeil est très fréquemment associé.

ETAT DE LA TECHNIQUE

[0002] Une forme du syndrome d'apnées du sommeil est liée à une obstruction des voies aériennes. Lorsque cette obstruction est partielle, on parle d'hypopnée. Cette obstruction peut être complète, on parle alors d'apnée obstructive.

[0003] Le Syndrome d'Apnées-Hypopnées Obstructive du Sommeil, aussi abrégé SAHOS, est une pathologie fréquente dans la population. La littérature sur ce sujet rapporte une prévalence de 4 % chez les hommes et de 2 % chez les femmes (Young et al. *The occurrence of sleep-disordered breathing among middle-aged adults*, N Engl J Med, 328, 1230-1235, 1993), plus particulièrement chez les adultes de plus de 50 ans (Lévy, et al. *Obstructive sleep apnoea syndrome*, Nature Reviews Disease Primers, 1, 15015, 2015). Il correspond à des obstructions répétées des voies aériennes supérieures durant le sommeil. Le SAHOS est associé à une fragmentation du sommeil susceptible de favoriser une somnolence diurne, des troubles attentionnels et d'augmenter le risque d'accident (Myers et al. *Does this patient have obstruction sleep apnea? The rational clinical examination systematic review*, JAMA, 310, 731-741, 2013). L'hypoxie intermittente induite par ce syndrome augmente la prévalence de pathologies telles que des pathologies cardio-vasculaires et métaboliques, ainsi que la mortalité des patients. D'une façon générale, ce syndrome altère en outre la qualité de vie des patients et de leur entourage.

[0004] Suite à son diagnostic, ce syndrome est généralement traité en utilisant un dispositif nocturne qui maintient une pression positive continue qui limite l'obstruction et stabilise les voies aériennes supérieures. Il existe un besoin considérable pour le dépistage du SAHOS dans les populations à risques, représentant des millions de sujets, tels que les personnes souffrant d'hypertension, d'insuffisance cardiaque, ou de diabète de type 2.

- [0005] Pour diagnostiquer ce syndrome, le questionnaire de Berlin est généralement utilisé par les praticiens spécialistes, afin d'établir un diagnostic rapide qui, combiné à l'expérience du spécialiste, orientera ou non le patient vers des examens plus poussés pour le diagnostic du SAHOS. Le questionnaire de Berlin fait un état des lieux de la situation du patient vis-à-vis du ronflement, de la somnolence, et de l'hypertension, traduit ensuite en un score permettant l'orientation ou non du patient vers un examen complémentaire.
- [0006] L'examen complémentaire consiste en l'enregistrement des événements respiratoires durant le sommeil du patient. L'examen de référence est la polysomnographie du sommeil. Cet examen est réalisé en milieu hospitalier. Il quantifie les événements respiratoires anormaux (apnées, hypopnées) au cours d'une nuit, pour obtenir un indice d'apnées+hypopnées, pouvant être aussi désigné dans le domaine par indice d'apnées hypopnées, ou l'acronyme IAH. La polysomnographie comporte un électro-encéphalogramme, pour évaluer la structure du sommeil, et un enregistrement des événements cardiorespiratoires (débit aérien nasal, saturation du sang en oxygène, fréquence cardiaque, ampliation thoracique et abdominale).
- [0007] En alternative, la polygraphie ambulatoire est plus accessible car elle ne nécessite pas d'hospitalisation. Au domicile du patient, un appareil enregistre pendant une nuit le flux aérien, la saturation du sang en oxygène, les événements respiratoires, le ronflement et la position du sommeil pour obtenir l'indice d'apnées+hypopnées.
- [0008] Toutefois, même dans la version ambulatoire, ces examens complémentaires ne peuvent pas être prescrits de façon systématique du fait de leur coût important, du faible nombre d'appareils disponibles et de la pénurie de personnels qualifiés.
- [0009] Il existe donc un besoin pour faciliter le dépistage du SAHOS, notamment dans les populations à risques représentant des millions de sujets, tels que les personnes souffrant d'hypertension, d'insuffisance cardiaque, ou de diabète de type 2.
- [0010] Il existe des documents décrivant un lien entre des caractéristiques morphologiques et le SAHOS, et notamment Banabilh, S.M., *et al. Craniofacial obesity in patients with obstructive sleep apnea*. *Sleep Breath* 13, 19–24 (2009). Certaines caractéristiques maxillo-faciales peuvent être mesurées directement ou indirectement, et notamment des mesures caractérisant l'anatomie cranio-faciale et l'augmentation de volume des tissus mous (langue, voile du palais). L'anatomie pharyngée est reconnue comme un des acteurs importants dans l'apparition du SAHOS. Si une grande partie de ces caractéristiques sont visibles, elles restent toutefois difficilement quantifiables et analysables, surtout pour des praticiens non spécialistes.
- [0011] Un objet de la présente invention est donc de proposer de fiabiliser et/ou de standardiser, par l'analyse de caractéristiques morphologiques d'une partie supérieure du corps humain, le diagnostic d'une pathologie, et plus particulièrement le diagnostic du

syndrome d'apnées-hypopnées obstructives du sommeil.

[0012] Les autres objets, caractéristiques et avantages de la présente invention apparaîtront à l'examen de la description suivante et des dessins d'accompagnement. Il est entendu que d'autres avantages peuvent être incorporés.

RESUME

[0013] Pour atteindre cet objectif, selon un premier aspect on prévoit un procédé de détermination d'un indice d'apnées+hypopnées d'un patient ou d'une labélisation fonction d'un indice d'apnées+hypopnées, comprenant :

- une fourniture d'un ensemble de données relatives à un patient, à un serveur distant ou un produit programme d'ordinateur. L'ensemble de données relatives au patient comprend, ou permet de déterminer, des données caractéristiques de la morphologie au moins maxillo-faciale du patient par rapport à une morphologie de référence. Le cas échéant, la détermination desdites données caractéristiques est fonction du positionnement d'au moins quatre points homologues, sur un scan 3D d'une portion de la tête du patient représentant sa morphologie au moins maxillo-faciale,
- une introduction de l'ensemble de données relatives au patient, comprenant les données caractéristiques de la morphologie au moins maxillo-faciale du patient, dans un modèle d'apprentissage automatique entraîné pour prédire un indice d'apnées+hypopnées, ou une labélisation fonction d'un indice d'apnées+hypopnées, pour ledit ensemble de données, à partir d'une pluralité d'ensembles de données d'une base de données relatives à un ensemble de patients distincts, chaque ensemble de données de la base de données :
 - comprenant des données de morphologie au moins maxillo-faciale relatives à un patient de l'ensemble, et
 - étant associé à un indice d'apnées+hypopnées, ou une labélisation fonction d'un indice d'apnées+hypopnées,

de sorte que le modèle d'apprentissage prédit un indice d'apnées+hypopnées, ou une labélisation fonction d'un indice d'apnées+hypopnées, à l'ensemble de données relatives au patient.

[0014] Ainsi, les caractéristiques morphologiques du patient sont comparées de façon automatisée avec la base de données, pour obtenir par comparaison l'indice d'apnées+hypopnées ou la labélisation fonction de cet indice. Les points homologues permettent de fiabiliser l'alignement entre les données caractéristiques de la morphologie du patient et celles de l'ensemble de patients de la base de données, et ainsi de fiabiliser la prédiction. Ce procédé permet donc de s'affranchir de l'observation de ces caractéristiques par un praticien spécialiste, et de la variabilité pouvant découler de cette observation, par exemple d'un praticien à un autre.

- [0015] L'obtention de l'indice d'apnées+hypopnées, ou de la labélisation fonction de cet indice, ne nécessite en outre pas, pour le patient à diagnostiquer, l'enregistrement des événements respiratoires durant son sommeil. La réalisation d'une polysomnographie ou d'une polygraphie est évitée pour le patient à diagnostiquer, avec les contraintes que celles-ci occasionnent, telles que des difficultés d'endormissement, des déplacements multiples. En outre, l'interprétation des résultats de polysomnographie et de polygraphie sont complexes et doivent être réalisées par un praticien spécialiste, pour aboutir à l'indice d'apnées+hypopnées.
- [0016] Le procédé permet donc de standardiser et de faciliter, à partir des caractéristiques morphologiques d'un patient, l'obtention de l'indice d'apnées+hypopnées, ou de la labélisation fonction de cet indice, et donc le diagnostic d'une pathologie liée à l'indice d'apnées+hypopnées, par exemple le diagnostic du SAHOS. Le confort et la facilité d'accès aux soins pour le patient sont en outre améliorés par rapport aux solutions existantes. L'obtention de l'indice d'apnées+hypopnées, ou de la labélisation fonction de cet indice, est simplifiée et accélérée par rapport aux solutions existantes, puisque cet indice est obtenu à partir d'un scan 3D du patient. Le procédé peut être mis en œuvre par un praticien spécialiste ou non de la pathologie, ou par tout opérateur tel qu'un professionnel de santé, par exemple un pharmacien. Son résultat peut en outre être rendu rapidement, par exemple dès la consultation, l'obtention de l'indice d'apnées+hypopnées ou de la labélisation étant faite par le modèle d'apprentissage automatique.
- [0017] Selon un mode de réalisation, la labélisation est plus particulièrement une valeur, qualitative ou quantitative, de risque que le patient présente la pathologie. La labélisation peut présenter au moins deux valeurs, une valeur associée à un risque faible et au moins une valeur associée à un risque avéré. De préférence, la labélisation présente, parmi l'au moins une valeur associée à un risque avéré, au moins une valeur associée à un risque avéré modéré de présenter la pathologie, et au moins une valeur associée à un risque avéré sévère de présenter la pathologie.
- [0018] La labélisation est fonction de l'indice d'apnée hypopnée, et notamment fonction de valeur seuil standard d'indice d'apnées+hypopnées pour une pathologie, par exemple le SAHOS. Par exemple, la labélisation présente :
- une valeur de risque faible correspondant à un indice d'apnées+hypopnées sensiblement inférieur à 15,
 - une valeur de risque avéré correspondant à un indice d'apnées+hypopnées sensiblement supérieur à 15.
- [0019] La labélisation peut en outre présenter :
- une valeur de risque avéré modéré correspondant à un indice d'apnées+hypopnées sensiblement compris entre 15 et 30,

- une valeur de risque avéré sévère correspondant à un indice d'apnées+hypopnées sensiblement supérieur à 30.

[0020] Lorsque l'indice d'apnées+hypopnées prédit pour l'ensemble de données relatives au patient est supérieur à une valeur seuil standard d'indice d'apnées+hypopnées, et plus particulièrement supérieur à 15, ou, lorsque la labélisation prédite présente au moins une valeur associée au risque avéré, le procédé peut comprendre le diagnostic d'une pathologie du patient, par exemple du SAHOS. Le procédé selon le premier aspect peut être un procédé de diagnostic de la pathologie, et présente les avantages précédemment décrits. Le procédé permet ainsi de fiabiliser et de standardiser, par l'analyse de caractéristiques morphologiques d'une partie supérieure du corps humain, le diagnostic d'une pathologie, et plus particulièrement le diagnostic du syndrome d'apnées-hypopnées obstructives du sommeil.

[0021] Selon un exemple, le procédé peut comprendre :

- une comparaison de l'indice d'apnées+hypopnées prédit pour l'ensemble de données relatives au patient avec une valeur seuil standard d'indice d'apnées+hypopnées,
- une constatation que l'indice d'apnées+hypopnées prédit pour l'ensemble de données relatives au patient est supérieur à la valeur seuil standard d'indice d'apnées+hypopnées, par exemple 15,
- un diagnostic d'une pathologie liée à l'indice d'apnées+hypopnées, par exemple du SAHOS.

[0022] Selon un exemple, le procédé peut comprendre :

- une constatation que la labélisation prédite présente une valeur de risque avéré de présenter une pathologie liée à l'indice d'apnées+hypopnées
- un diagnostic de la pathologie liée à l'indice d'apnées+hypopnées, par exemple du SAHOS.

[0023] Selon un exemple, lorsque l'indice d'apnées+hypopnées prédit pour l'ensemble de données relatives au patient est sensiblement compris entre 15 et 30, ou lorsque la labélisation prédite présente une valeur associée au risque avéré modéré, le patient est diagnostiqué pour un syndrome d'apnées-hypopnées obstructives du sommeil de degré modéré, et lorsque l'indice d'apnées+hypopnées prédit pour l'ensemble de données relatives au patient est sensiblement supérieur à 30, ou lorsque la labélisation prédite présente une valeur associée au risque avéré sévère, le patient est diagnostiqué pour un syndrome d'apnées-hypopnées obstructives du sommeil de degré sévère. Ainsi, le procédé permet de déterminer un degré de sévérité du SAHOS.

[0024] Un deuxième aspect, combinable ou séparable au premier aspect, concerne une méthode exécutée par un ordinateur et comprenant au moins les étapes énoncées ci-dessus relativement au procédé selon le premier aspect. La méthode exécutée par un

ordinateur peut comprendre toute étape du procédé susceptible d'être exécutée sur un ordinateur, par exemple par un produit programme d'ordinateur et/ou un serveur distant. Le procédé de détermination de l'indice d'apnées+hypopnées du patient peut plus particulièrement comprendre la méthode exécutée par un ordinateur selon cet aspect.

[0025] Un troisième aspect concerne un serveur distant apte à communiquer avec un produit programme d'ordinateur, et comprenant des moyens pour la mise en œuvre du procédé selon le premier aspect et/ou de la méthode selon le deuxième aspect. Le serveur distant comprend :

- une base de données relative à un ensemble de patients distincts comprenant une pluralité d'ensembles de données, chaque ensemble de données de la base de données :
 - comprenant des données de morphologie au moins maxillo-faciale relatives à un patient de l'ensemble,
 - étant associé à un indice d'apnées+hypopnées, ou une labélisation fonction d'un indice d'apnées+hypopnées, et
- un modèle d'apprentissage automatique entraîné pour prédire un indice d'apnées+hypopnées, ou une labélisation fonction d'un indice d'apnées+hypopnées, pour ledit ensemble de données, à partir de la base de données.

[0026] Le serveur distant est configuré pour :

- recevoir l'ensemble de données relatives au patient comprenant, ou permettant de déterminer, des données caractéristiques de la morphologie au moins maxillo-faciale du patient par rapport à une morphologie de référence, le cas échéant la détermination des dites données étant fonction du positionnement d'au moins quatre points homologues, sur un scan 3D d'une portion de la tête du patient représentant sa morphologie au moins maxillo-faciale,
- introduire l'ensemble de données relatives au patient, comprenant les données caractéristiques de la morphologie au moins maxillo-faciale du patient, dans le modèle d'apprentissage automatique entraîné, de sorte que le modèle d'apprentissage prédit un indice d'apnées+hypopnées ou une labélisation fonction d'un indice d'apnées+hypopnées, pour l'ensemble de données relatives au patient.

[0027] Selon un exemple, le serveur distant peut être configuré pour mettre à jour la base de données suite à une réception d'un ensemble de données relatives au patient, complété de l'indice d'apnées+hypopnées du patient mesuré par polysomnographie ou polygraphie ambulatoire. Ainsi, si le patient effectue une polysomnographie ou polygraphie ambulatoire, par exemple suite au diagnostic de la pathologie par le procédé

selon le premier aspect, l'indice d'apnées+hypopnées mesuré peut être inclus dans l'ensemble de données relatives au patient. Cet ensemble peut être ajouté à la base de données et ainsi la mettre à jour, pour améliorer le modèle d'apprentissage automatique.

[0028] Un quatrième aspect concerne un produit programme d'ordinateur comprenant des instructions, qui lorsqu'elles sont effectuées par au moins un processeur, exécute au moins, du procédé selon le premier aspect et/ou de la méthode selon le deuxième aspect, un envoi au serveur distant de l'ensemble de données relatives au patient, l'ensemble de données relatives au patient comprenant, ou permettant de déterminer, des données caractéristiques de la morphologie au moins maxillo-faciale du patient par rapport à une morphologie de référence, la détermination desdites données étant fonction du positionnement d'au moins quatre points homologues, sur un scan 3D d'une portion de la tête du patient représentant sa morphologie au moins maxillo-faciale.

[0029] Selon un exemple, le produit programme d'ordinateur comprend la détermination desdites données en fonction du positionnement des au moins quatre points homologues, sur le scan 3D d'une portion de la tête du patient représentant sa morphologie au moins maxillo-faciale.

[0030] Selon un exemple, le produit programme d'ordinateur peut être configuré pour recevoir, depuis le serveur distant, l'indice d'apnées+hypopnées.

[0031] Un cinquième aspect concerne un produit programme d'ordinateur comprenant des instructions, qui lorsqu'elles sont effectuées par au moins un processeur, exécute au moins, du procédé selon le premier aspect et/ou de la méthode selon le deuxième aspect :

- la réception de l'ensemble de données relatives au patient comprenant, ou permettant de déterminer, des données caractéristiques de la morphologie au moins maxillo-faciale du patient par rapport à une morphologie de référence, le cas échéant la détermination desdites données étant fonction du positionnement d'au moins quatre points homologues, sur un scan 3D d'une portion de la tête du patient représentant sa morphologie au moins maxillo-faciale ,
- l'introduction de l'ensemble de données relatives au patient, comprenant les données caractéristiques de la morphologie au moins maxillo-faciale du patient, dans le modèle d'apprentissage automatique entraîné pour prédire un indice d'apnées+hypopnées, ou une labélisation fonction d'un indice d'apnées+hypopnées, pour ledit ensemble de données, à partir d'une pluralité d'ensembles de données d'une base de données relative à un ensemble de patients distincts, chaque ensemble de données de la base de données :

- comprenant des données de morphologie au moins maxillo-faciale relatives à un patient de l'ensemble, et
- étant associé à un indice d'apnées+hypopnées, ou une labélisation fonction d'un indice d'apnées+hypopnées,

de sorte que le modèle d'apprentissage prédit (14) un indice d'apnées+hypopnées ou une labélisation fonction d'un indice d'apnées+hypopnées, pour l'ensemble de données relatives au patient.

[0032] Un sixième aspect concerne un kit pour la mise en œuvre du procédé selon le premier aspect, comprenant au moins un produit programme d'ordinateur selon l'une quelconque des deux revendications précédentes, un scanner apte à l'acquisition du scan 3D d'une portion de la tête du patient représentant sa morphologie au moins maxillo-faciale, et de préférence maxillo-faciale et submandibulaire. Le kit peut en outre comprendre un dispositif d'alignement de la tête du patient.

BREVE DESCRIPTION DES FIGURES

[0033] Les buts, objets, ainsi que les caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront mieux de la description détaillée d'un mode de réalisation de cette dernière qui est illustré par les dessins d'accompagnement suivants dans lesquels :

[0034] [Fig.1] La [Fig.1] représente des étapes du procédé de détermination d'un indice d'apnées+hypopnées d'un patient, selon un exemple de réalisation, où des étapes optionnelles du procédé sont indiquées en pointillé et des chemins en parallèles indiquent des variantes du procédé.

[0035] [Fig.2] La [Fig.2] représente le kit et le serveur distant, selon un exemple de réalisation.

[0036] [Fig.3] La [Fig.3] illustre la vérification de l'alignement de la tête du patient par un dispositif d'alignement, selon un exemple de réalisation.

[0037] [Fig.4] La [Fig.4] représente un exemple de données caractéristiques de la morphologie maxillo-faciale et submandibulaire d'un patient, déterminée à partir de sept points homologues.

[0038] [Fig.5] La [Fig.5] est un graphique de la proportion de variance exprimée par les données caractéristiques de la morphologie représentées en [Fig.4], en fonction d'un nombre croissant de composantes principales, après une analyse en composantes principales.

[0039] [Fig.6A] Les figures 6A et 6B représentent un exemple de projection du patient (noir), mesurée plusieurs fois, et de patients de la base de données (blanc) dans un plan défini respectivement par la première et la deuxième composante principales en [Fig.6A] ; la première et la troisième composantes principales en [Fig.6B].

[0040] [Fig.6B]

[0041] Les dessins sont donnés à titre d'exemples et ne sont pas limitatifs de l'invention. Ils constituent des représentations schématiques de principe destinées à faciliter la compréhension de l'invention et ne sont pas nécessairement à l'échelle des applications pratiques.

DESCRIPTION DÉTAILLÉE

[0042] Avant d'entamer une revue détaillée de modes de réalisation de l'invention, sont énoncées ci-après des caractéristiques optionnelles qui peuvent éventuellement être utilisées en association ou alternativement :

- l'ensemble de données relatives au patient peut être fourni sous la forme :
 - d'un scan 3D d'une portion de la tête du patient représentant la morphologie au moins maxillo-faciale, et de préférence maxillo-faciale et submandibulaire, du patient,
 - d'un scan 3D d'une portion de la tête du patient représentant la morphologie au moins maxillo-faciale, et de préférence maxillo-faciale et submandibulaire, du patient, sur lequel sont positionnés des points homologues
 - des données caractéristiques de la morphologie du patient, déterminées en fonction du positionnement de points homologues sur un scan 3D représentant la morphologie au moins maxillo-faciale, et de préférence maxillo-faciale et submandibulaire du patient,
- l'ensemble fourni de données relatives au patient comprenant un scan 3D d'une portion de la tête du patient représentant la morphologie au moins maxillo-faciale du patient, le procédé comprend, préalablement à l'introduction de l'ensemble de données relatives au patient dans le modèle d'apprentissage automatique :
 - un positionnement des au moins quatre points homologues sur le scan 3D,
 - la détermination, à partir des points homologues positionnés, des données caractéristiques de la morphologie au moins maxillo-faciale du patient par rapport à la morphologie de référence.
- l'ensemble fourni de données relatives au patient comprenant un scan 3D d'une portion de la tête du patient, sur lequel les au moins quatre points homologues sont positionnés, le procédé comprend, préalablement à l'introduction de l'ensemble de données relatives au patient dans le modèle d'apprentissage automatique, la détermination, à partir des au moins quatre points homologues positionnés, des données caractéristiques de la morphologie au moins maxillo-faciale du patient par rapport à la morphologie de

- référence,
- l'ensemble fourni de données relatives au patient comprend les données caractéristiques de la morphologie au moins maxillo-faciale du patient par rapport à la morphologie de référence, telles que déterminées en fonction du positionnement des points homologues sur le scan 3D d'une portion de la tête du patient,
 - l'ensemble de données relatives au patient comprend en outre, ou permet de déterminer en outre, des données caractéristiques de la morphologie submandibulaire du patient par rapport à la morphologie de référence, la détermination desdites données étant fonction du positionnement d'au moins trois points homologues supplémentaires, sur le scan 3D d'une portion de la tête du patient représentant sa morphologie maxillo-faciale et submandibulaire,
 - la détermination des données caractéristiques de la morphologie au moins maxillo-faciale, de préférence maxillo-faciale et submandibulaire, du patient par rapport à la morphologie de référence comprend une réduction de la dimensionnalité des données issues du positionnement des au moins quatre points homologues, de préférence des au moins sept points homologues, par exemple par une analyse en composantes principales,
 - l'ensemble de données relatives au patient comprend en outre des données additionnelles d'informations cliniques sur le patient. Ces données sont par exemple choisies parmi un indice de corpulence du patient, des indices de l'obstruction des voies aériennes supérieure d'examen clinique, des données de questionnaire médical. Le modèle d'apprentissage automatique peut être entraîné pour prédire l'indice d'apnées+hypopnées, ou la labélisation fonction d'un indice d'apnées+hypopnées, pour ensemble de données relatives au patient, à partir de la pluralité d'ensembles de données de la base de données, chaque ensemble de données de la base de données comprenant lesdites données additionnelles d'informations cliniques relatives à un patient de l'ensemble,
 - l'ensemble de données relatives au patient comprend en outre, ou permet de déterminer en outre, des données supplémentaires caractéristiques de la morphologie maxillo-faciale du patient dans au moins une position parmi une position de prognathie et une position de rétrognathie, de préférence une position de prognathie maximale et une position de rétrognathie maximale,
 - le procédé comprend l'acquisition du scan 3D d'une portion de la tête du patient représentant sa morphologie au moins maxillo-faciale, de préférence maxillo-faciale et submandibulaire,
 - l'acquisition du scan 3D comprend une vérification de l'alignement de la tête

- du patient, et plus particulièrement de l'horizontalité du plan de référence de la tête du patient, par un dispositif d'alignement,
- lorsque l'ensemble de données relatives au patient est fourni à un serveur distant, le procédé comprend le renvoi, depuis le serveur distant vers un produit programme d'ordinateur, de l'indice d'apnées+hypopnées, ou de la labélisation, prédit(e) pour l'ensemble de données relatives au patient,
 - lorsque l'ensemble de données relatives au patient est fourni à un produit programme d'ordinateur ou lorsqu'un programme produit d'ordinateur reçoit l'indice d'apnées+hypopnées, ou la labélisation, renvoyé(e) depuis le serveur distant, le procédé comprend l'affichage, par le produit programme d'ordinateur, de l'indice d'apnées+hypopnées, ou de la labélisation, prédit(e) pour l'ensemble de données relatives au patient.

[0043] Il est précisé que dans le cadre de la présente invention, le terme scan 3D (scan en trois dimensions) se rapporte à une image résultant d'une procédure fournissant l'image en trois dimensions issue d'au moins une technique d'imagerie médicale. De préférence, la technique d'imagerie médicale est non-irradiante pour le patient. Un type d'imagerie médicale envisagée est un scanner par lumière infrarouge. Cette technique présente l'avantage d'être inoffensive et non-ionisante pour le patient. Notons qu'on peut prévoir l'obtention d'un scan 3D par photogrammétrie, tout aussi inoffensive pour le patient. On peut en outre prévoir l'obtention d'un scan 3D par lasergrammétrie. Dans le cadre de la présente invention, le scanner 3D est réalisé en position frontale au patient et représente, autour d'un axe de révolution parallèle à l'axe vertical ou longitudinal du patient, au moins un tiers, et de préférence la moitié, de sa morphologie maxillo-faciale, et de préférence de sa morphologie maxillo-faciale et submandibulaire. Selon un exemple, le scan 3D représente la morphologie frontale de la tête du patient :

- des yeux jusqu'au menton, et jusqu'aux oreilles, pour la morphologie maxillo-faciale,
- des yeux jusqu'au buste, et plus particulièrement jusqu'aux articulations acromio-claviculaires et la fourchette sternale, et jusqu'aux oreilles, pour la morphologie maxillo-faciale et submandibulaire.

[0044] On peut prévoir que le scan 3D comprenne une pluralité de scans, par exemple un scan de la morphologie maxillo-faciale et un scan distinct de la morphologie submandibulaire. Une pluralité de scans en deux dimensions peut en outre être utilisée pour former le scan 3D.

[0045] Par « points homologues », on entend des points représentant le même endroit du visage ou du buste entre différents scans 3D, par exemple de patients distincts. Ces points représentent une homologie entre les scans 3D, c'est-à-dire une même caracté-

ristique morphologique. Comme point homologue, on peut citer :

- la jonction entre le lobe d'oreille et les joues,
- la base du nez,
- une, et de préférence les deux, pupille(s),
- une, et de préférence les deux, articulation(s) acromio-claviculaire(s),
- la fourchette sternale.

- [0046] Le terme « informations cliniques sur le patient » désigne les données relatives à un patient qui ont été acquises par un examen par un professionnel de santé. Elles peuvent comprendre au moins un des éléments suivants : l'âge, le sexe, la taille, le poids, l'IMC, le type anthropologique, l'état de santé, les antécédents, des réponses à un questionnaire de santé, des données de l'examen clinique et des facteurs de risque du patient.
- [0047] Le terme « apprentissage automatique », que l'on peut traduire en anglais par *machine learning*, fait référence à un ou plusieurs algorithmes informatiques capables d'effectuer automatiquement une ou plusieurs prédictions et/ou classifications sans programmation explicite. L'algorithme informatique peut construire le modèle d'apprentissage à partir de données d'apprentissage, et notamment à partir de la base de données. Notons que le modèle d'apprentissage automatique peut être lié à la base de données hébergée par le serveur distant. Selon un exemple, le modèle d'apprentissage est lui-même hébergé sur le serveur distant. Le modèle d'apprentissage automatique peut ne pas être lié à la base de données hébergée par le serveur distant, lors de la mise en œuvre du procédé. Par exemple, le modèle d'apprentissage automatique a été entraîné sur les données d'apprentissage, puis a été implémenté dans un produit programme d'ordinateur pouvant fonctionner indépendamment du serveur, lors de la mise en œuvre du procédé. Ceci n'exclut pas des mises à jour du modèle d'apprentissage automatique, par exemple par communication entre le serveur distant et le produit programme d'ordinateur.
- [0048] Il est précisé que dans le cadre de la présente invention, un paramètre « sensiblement égal/supérieur/inférieur à » une valeur donnée, que ce paramètre est égal/supérieur/inférieur à la valeur donnée, à plus ou moins 10 % près, voire à plus ou moins 5 % près, de cette valeur.
- [0049] Le procédé 1 de détermination de l'indice d'apnées+hypopnées d'un patient, selon un exemple de réalisation, est maintenant décrit en référence à la [Fig.1].
- [0050] Le procédé 1 comprend la fourniture 10 d'un ensemble de données relatives à un patient. L'ensemble de données relatives au patient comprend, ou permet de déterminer, des données caractéristiques de la morphologie au moins maxillo-faciale, et de préférence maxillo-faciale et submandibulaire, du patient par rapport à une morphologie de référence. Ces données sont déterminées à partir d'un scan 3D de la tête 6

du patient, représentant sa morphologie maxillo-faciale, et de préférence de sa morphologie maxillo-faciale et submandibulaire.

- [0051] Le scan 3D peut être traité pour déterminer 11 des données caractéristiques de la morphologie du patient. Dans la suite, on considère à titre non-limitatif que ces données sont caractéristiques de la morphologie maxillo-faciale et submandibulaire du patient. Sauf mention du contraire, les caractéristiques décrites dans la suite peuvent s'appliquer à l'exemple selon lequel les données caractéristiques sont déterminées à partir d'un scan 3D représentant uniquement la morphologie maxillo-faciale du patient.
- [0052] L'ensemble 12 de données relatives au patient, comprenant ces données caractéristiques de la morphologie, est introduit 13 dans le modèle d'apprentissage automatique. Le modèle d'apprentissage automatique est entraîné pour prédire, à partir d'une base de données, un indice d'apnées+hypopnées et/ou une labélisation fonction de cet indice, pour l'ensemble 12 de données relatives au patient.
- [0053] La base de données comprend une pluralité d'ensembles de données de personnes distinctes, ci-après désignés patients. Ces patients peuvent être sains ou présenter une pathologie liée à l'indice d'apnées+hypopnées. Chaque ensemble de données comprend au moins des données de morphologie et l'indice d'apnées+hypopnées, et/ou une labélisation fonction de cet indice, d'un patient.
- [0054] L'indice d'apnées+hypopnées peut plus particulièrement avoir été mesuré, par exemple par polygraphie ou de préférence par polysomnographie. La labélisation peut être issue d'une transformation d'un indice d'apnées+hypopnées en une valeur qualitative ou quantitative de risque que le patient présente une pathologie. Cette transformation peut par exemple être faite lors de la constitution de la base de données, ou lors d'une mise à jour de cette base de données, décrite ultérieurement. Notamment, la labélisation peut présenter une valeur associée à un risque faible et au moins une valeur associée à un risque avéré. De préférence, la labélisation présente au moins une valeur associée à un risque avéré modéré de présenter la pathologie, et au moins une valeur associée à un risque avéré sévère de présenter la pathologie. Pour cela, la labélisation peut être issue de l'indice d'apnées+hypopnées, par rapport à une ou plusieurs valeurs seuils standard de cet indice. Ces valeurs seuils sont de préférence des standards de risque à présenter une pathologie, établie dans le domaine médical pour la pathologie en question.
- [0055] Pour le SAHOS ou des pathologies liées, la labélisation peut présenter :
- une valeur de risque faible correspondant à un indice d'apnées+hypopnées sensiblement inférieur à 15,
 - une valeur de risque avéré correspondant à un indice d'apnées+hypopnées sensiblement supérieur à 15.
- [0056] La labélisation peut en outre présenter :

- une valeur de risque avéré modéré correspondant à un indice d'apnées+hypopnées sensiblement compris entre 15 et 30,
- une valeur de risque avéré sévère correspondant à un indice d'apnées+hypopnées sensiblement supérieur à 30.

- [0057] Le modèle d'apprentissage automatique est un modèle d'apprentissage supervisé entraîné pour prédire de façon automatisée l'indice d'apnées+hypopnées et/ou la labélisation pour l'ensemble 12 de données relatives au patient. Le modèle d'apprentissage supervisé peut notamment comprendre un modèle mathématique dont les données d'entrée sont l'ensemble 12 de données relatives au patient, et la donnée de sortie est l'indice d'apnées+hypopnées et/ou la labélisation.
- [0058] La base de données comprenant une pluralité d'ensembles de données de patients, comprenant chacun l'indice d'apnée-hypopnée, et/ou une labélisation fonction de cet indice, et le modèle d'apprentissage ayant été entraîné sur cette base de données, on comprend que le modèle d'apprentissage est entraîné pour classifier l'ensemble 12 de données relatives au patient pour lui attribuer la labélisation, et/ou pour prédire, à partir de l'ensemble 12 de données relatives au patient, l'indice d'apnées+hypopnées. Lorsqu'une labélisation est prédite 14, le modèle d'apprentissage peut effectuer une classification binaire, voire ternaire ou plus selon le nombre de valeurs de labélisation possibles. Lorsque l'indice d'apnées+hypopnées est prédit 14, le modèle d'apprentissage peut effectuer une régression. De façon intermédiaire, le modèle d'apprentissage peut classer les individus dans des groupes ordonnés.
- [0059] Dès lors, le procédé 1 permet de façon standardisée et automatisée d'obtenir l'indice d'apnées+hypopnées du patient, à partir de sa morphologie maxillo-faciale et submandibulaire. Les indices d'apnées+hypopnées sont mesurés par des méthodes cliniques standard pour les patients de la base de données. Il n'est toutefois pas nécessaire que cette mesure soit effectuée pour le patient dont on cherche l'indice d'apnées+hypopnées. En effet, les données caractéristiques de la morphologie sont déterminées à partir d'un scan 3D de la tête 6 du patient. Le procédé 1 permet donc de s'affranchir de la mesure par polygraphie ou par polysomnographie, pour ce patient. Le procédé 1 permet en outre de s'affranchir d'une observation de la morphologie du patient par un praticien spécialisé, et/ou pour le moins de minimiser, voire d'éviter, une variabilité ou un manque d'appréciation pouvant découler de cette observation.
- [0060] À partir de l'indice d'apnées+hypopnées ou de la labélisation prédit(e) pour le patient, un diagnostic 15 d'une pathologie liée à cet indice peut être posé, de préférence complété par une évaluation 150 du degré de sévérité de la pathologie. La pathologie liée à cet indice peut être le SAHOS, et plus particulièrement le Syndrome d'Apnée Obstructive du Sommeil, communément abrégé SAOS. Dans d'autres pathologies le SAHOS est une pathologie très prévalente et il est préférable de le diag-

nostiquer pour établir le pronostic de cette autre pathologie, et en outre mieux la contrôler. À titre d'exemples non limitatifs, c'est le cas notamment pour le diabète et l'hypertension. Dans certaines maladies rares affectant la morphologie maxillo-faciale, le SAHOS est très fréquent et le procédé 1 permettrait de faciliter leur caractérisation et/ou leur diagnostic. À titre d'exemples non limitatifs, c'est le cas notamment pour l'acromégalie, la maladie de Crouzon, le syndrome d'Apert, la trisomie 21.

[0061] Le procédé peut donc être utilisé pour diagnostiquer une pathologie pour laquelle le SAHOS est prévalent et/ou pour laquelle le SAHOS est fréquent. Ces pathologies peuvent être référencées par la CIM-10, la classification internationale des maladies, codant notamment les maladies, signes, symptômes, circonstances sociales et causes externes de maladies ou de blessures, et publiée par l'Organisation mondiale de la santé :

- J47-3 : comprenant essentiellement les apnées-hypopnées du sommeil,
- I10 comprenant l'hypertension,
- I48 comprenant la fibrillation et flutter auriculaires,
- I219 comprenant l'infarctus du myocarde,
- E119 comprenant le diabète de type 2,
- K758 comprenant la NASH, de l'anglais Non-Alcoholic SteatoHepatitis (stéatohépatite non alcoolique),
- I509 comprenant l'insuffisance cardiaque,
- E220 comprenant l'acromégalie,
- Q901 comprenant la trisomie 21.

[0062] Pour cela, l'indice d'apnées+hypopnées prédit pour le patient peut être comparé à une ou plusieurs valeurs standards différenciant :

- une personne saine d'une personne souffrant de la pathologie,
- différents degrés de sévérité de la pathologie.

[0063] De façon alternative ou complémentaire, la labélisation prédite pour le patient peut être constatée pour diagnostiquer la pathologie, de préférence selon le degré de sévérité de la pathologie.

[0064] Notons qu'on peut prévoir que le diagnostic soit posé sur la base de l'indice d'apnées+hypopnées, ou de la labélisation prédit(e) , par exemple complété d'informations cliniques sur le patient, notamment lorsque l'indice d'apnées+hypopnées est sensiblement autour des valeurs standards ci-dessus, et que la probabilité diagnostique est renforcée par les symptômes et/ou le contexte.

[0065] Selon un exemple, pour le diagnostic du SAHOS et/ou des pathologies liées au SAHOS, par exemple les pathologies précitées, l'indice d'apnées+hypopnées prédit pour le patient peut être comparé à la valeur seuil de 15, différenciant une personne saine pour un indice sensiblement inférieur à 15, d'une personne atteinte de SAHOS

pour un indice sensiblement supérieur à 15. L'indice d'apnées+hypopnées prédit pour le patient peut être comparé à la valeur seuil de 30, différenciant une personne atteinte de SAHOS à un degré modéré pour un indice sensiblement compris entre 15 et 30, et une personne atteinte de SAHOS à un degré sévère pour un indice sensiblement supérieur à 30. Dans la suite on considère à titre non limitatif que le procédé permet de prédire l'indice d'apnées+hypopnées pour le patient. Les caractéristiques suivantes s'appliquent toutefois également au mode de réalisation selon lequel une labélisation est prédite.

[0066] Le procédé 1 peut être mis en œuvre par un produit programme d'ordinateur 2 et/ou un serveur distant 3. Le produit programme d'ordinateur 2 et/ou le serveur distant 3 peuvent être configurés pour mettre en œuvre toute étape exécutée par ordinateur du procédé 1, notamment selon leur scénario de communication. Différents scénarii de communications peuvent être envisagés, par exemple illustrés par les figures 1 et 2. Selon un exemple, l'ensemble de données relatives au patient peut être fourni 10 à un produit programme d'ordinateur 2 comprenant le modèle d'apprentissage automatique. Par exemple, l'ensemble de données est fourni 10 par un opérateur, par exemple un professionnel de santé, sur un logiciel. Le produit programme d'ordinateur 2 peut être configuré pour traiter le scan 3D, ou des données issues de ce scan, pour déterminer 11 les données caractéristiques de la morphologie du patient. Le produit programme d'ordinateur 2 peut être configuré pour introduire 13 l'ensemble 12 de données relatives au patient, comprenant les données caractéristiques de la morphologie du patient, dans le modèle d'apprentissage automatique. Le modèle d'apprentissage automatique étant entraîné, il n'est pas nécessaire que le produit programme d'ordinateur comprenne la base de données. Une fois identifié 14, l'indice d'apnées+hypopnées prédit pour le patient peut ensuite être affiché 161 par le produit programme d'ordinateur 2.

[0067] Selon un autre exemple, l'ensemble de données relatives au patient peut être fourni 10 à un serveur distant 3, par exemple par le biais d'un produit programme d'ordinateur 2. Par exemple, l'ensemble de données est fourni 10 par un opérateur sur un logiciel, qui envoie 101 ensuite l'ensemble de données pour sa réception 100 par le serveur distant 3. Le produit programme d'ordinateur 2 peut être configuré pour traiter le scan 3D, ou des données issues de ce scan, pour déterminer 11 les données caractéristiques de la morphologie du patient, préalablement à l'envoi 101 au serveur distant 3. Le serveur distant 3 peut être configuré pour traiter le scan 3D, ou des données issues de ce scan, pour déterminer 11 les données caractéristiques de la morphologie du patient, suite à la réception 100 de l'ensemble de données. Le serveur distant 3 peut être configuré pour introduire 13 l'ensemble 12 de données relatives au patient, comprenant les données caractéristiques de la morphologie du patient, dans le modèle

d'apprentissage automatique. Le serveur distant 3 hébergeant la base de données, le modèle d'apprentissage automatique peut comparer 140, à la base de données, l'ensemble de données introduit, pour prédire 14 l'indice d'apnées+hypopnées. L'indice d'apnées+hypopnées peut ensuite être renvoyé 160 par le serveur distant 3 vers le produit programme d'ordinateur 2, par exemple pour son affichage 161.

[0068] On comprend que les différentes étapes du procédé peuvent être effectuées par l'un et/ou l'autre parmi le produit programme d'ordinateur 2 et le serveur distant 3, selon le scénario de communication entre ces éléments.

[0069] L'ensemble de données relatives au patient peut être fourni 10 sous la forme :

- d'un scan 3D représentant la morphologie du patient
- d'un scan 3D représentant la morphologie du patient, sur lequel sont positionnés des points homologues, décrits plus en détail ultérieurement,
- des données caractéristiques de la morphologie du patient, déterminées 11 en fonction du positionnement de points homologues sur un scan 3D représentant la morphologie du patient, comme décrit plus en détail ultérieurement.

[0070] Selon la forme des données 10, le produit programme d'ordinateur 2 et/ou le serveur distant 3 peuvent être configurés pour effectuer les étapes aboutissant à la détermination 11 des données caractéristiques de la morphologie du patient. Le produit programme d'ordinateur 2 et/ou le serveur distant 3 peuvent en outre être configurés pour constituer l'ensemble 12 de données relatives au patient comprenant les données caractéristiques de sa morphologie.

[0071] Les différentes étapes que peut comprendre le procédé 1 sont maintenant détaillées, en référence à la [Fig.1].

[0072] Le procédé peut comprendre l'acquisition 18 du scan. Pour cela, le scan 3D peut être réalisé par un scanner 40, par exemple illustré en [Fig.2]. Ce scanner 40 peut faire partie d'un kit 4, en communication avec le produit programme d'ordinateur 2, lui-même pouvant être, le cas échéant, apte à communiquer avec le serveur distant 3, comme par exemple illustré par la [Fig.2]. Le scan peut typiquement s'effectuer à environ 40 à 50 cm de la tête 6 du patient. Le scanner 40 peut projeter un nuage de lumière infrarouge. À titre d'exemple, un scanner commercial 3D System Sense © peut être utilisé. L'homme du métier saura envisager tout moyen technique d'imagerie médicale permettant d'acquérir le scan 3D.

[0073] De préférence, la posture du patient est naturelle, bouche fermée, les lèvres n'exprimant pas d'expression particulière, et un regard portant à l'horizon. Afin de faciliter la détermination 11 des données caractéristiques de la morphologie du patient, le procédé peut comprendre une vérification 180 de l'alignement de la tête 6 du patient, et plus particulièrement une vérification de l'horizontalité du plan de référence de sa tête 6. Le plan de référence est un plan passant par la partie supérieure de la

connexion entre les oreilles et le crâne, et les yeux, comme illustré par exemple par le plan P en [Fig.3].

- [0074] Pour cela, la posture du patient peut être stabilisée par un portique, par exemple installé le long d'un mur. En alternative ou en complément, l'horizontalité du plan de référence peut être vérifiée à l'aide d'un dispositif 41 porté par le patient. Comme illustré par exemple par la [Fig.3], ce dispositif 41 peut comprendre des lunettes équipées de moyens de contrôle de l'horizontalité du plan de référence. Ces moyens sont par exemple des moyens mécaniques tels que des niveaux à bulles, ou des moyens électroniques tels qu'une centrale inertielle. Une fente aménagée sur au moins une branche des lunettes, dans la direction longitudinale de la branche, peut permettre de vérifier l'alignement de l'œil du patient avec les lunettes. Lors de la vérification 180, le patient lève ou baisse la tête jusqu'à atteindre l'horizontalité. L'horizontalité du plan de référence sur les axes de roulis et de tangage peut être assurée par la mesure de l'accélération restant de préférence verticale au cours de l'acquisition 18. Le maintien du cap ou lacet peut être assuré par la mesure de l'azimut au début de ou avant l'acquisition, cette valeur restant de préférence sensiblement constante durant l'acquisition 18 du scan 3D.
- [0075] L'acquisition 18 peut comprendre une étape d'alerte lorsqu'une modification de la posture du patient est constatée, par exemple par les mesures de l'accélération et de l'azimut. Le procédé 1 peut en outre comprendre une vérification du scan 3D après son acquisition, de façon à refuser le scan d'un patient mal positionné, avec par exemple la tête inclinée ou dont la posture aurait bougé durant l'acquisition. La fiabilité du procédé 1 est ainsi améliorée.
- [0076] Des points homologues 1100 sont positionnés 110 sur le scan 3D. Ces points homologues permettent un premier traitement du scan, de façon à éliminer les effets d'échelle entre les patients, pour améliorer la l'alignement entre les données morphologiques de différents patients (traitement communément désigné par le terme anglais « registration », visant à aligner le même objet sur deux images différentes à l'aide d'une transformation). En outre, ces points peuvent fournir un ancrage pour la détermination des points semi-homologues, décrits ultérieurement.
- [0077] Les points homologues 1100 peuvent être positionnés 110 manuellement par un opérateur, par exemple par un professionnel de santé. Ce positionnement 110 peut être fait de façon automatisée par le produit programme d'ordinateur 2 ou le serveur distant 3. Après le positionnement 110 automatisé, le procédé 1 peut comprendre une vérification par l'opérateur de la position de ces points, l'opérateur pouvant les déplacer si leur placement n'est pas correct.
- [0078] Au moins trois, de préférence quatre, plus préférentiellement six, et plus préférentiellement encore sept points homologues 1100 peuvent être positionnés 110 sur le

scan 3D. Ces points peuvent être des points situés sur le visage, par exemple la base des deux oreilles et/ou les pupilles, la base du nez, complétés de préférence par la pointe du menton. Les points situés sur le visage sont facilement repérables sur le scan 3D. Lorsque les points homologues 1100 sont tous des points situés sur le visage du patient, le scan 3D peut ne représenter que la morphologie maxillo-faciale du patient.

- [0079] De préférence, au moins un, de préférence deux, et plus préférentiellement trois points homologues additionnels 1100 sont positionnés 110 sur le scan 3D, ces points étant disposés sur le buste du patient, par exemple aux articulations acromio-claviculaires, et/ou à la fourchette sternale. Le scan 3D représente alors la morphologie maxillo-faciale et submandibulaire du patient. Le procédé 1 permet ainsi de prendre en compte non seulement la morphologie maxillo-faciale du patient, mais aussi la morphologie de son buste. Les caractéristiques morphologiques analysées représentent une morphologie plus large du patient. Le procédé 1 est donc amélioré.
- [0080] Grâce aux points homologues 1100 sur le buste du patient, la détermination des données caractéristiques de la morphologie submandibulaire du patient est facilitée. En effet, la morphologie submandibulaire est principalement formée de tissus mous, pour lesquels la détermination 11 de ces données pourrait induire une forte variabilité impactant le traitement par le modèle d'apprentissage automatique, sans l'addition de ces points homologues 1100 additionnels. La fiabilité du procédé est donc encore améliorée.
- [0081] Pour faciliter le positionnement 110 de ces points homologues 1100 additionnels, des cibles sont de préférence placées au préalable sur le patient au niveau de ces points, par exemple sur les deux articulations acromio-claviculaires, et/ou au niveau de fourchette sternale, durant l'acquisition 18 du scan 3D. Le placement de ces cibles facilite l'identification des points homologues 1100 du buste quelle que soit la morphologie corporelle du patient, et notamment lorsque les reliefs du buste ne sont pas clairement apparents sur le scan 3D du fait de la présence de tissus graisseux.
- [0082] Les données caractéristiques de la morphologie du patient sont déterminées par rapport à une morphologie de référence. La morphologie de référence peut être la morphologie d'un individu de préférence. Un individu de référence peut être un patient choisi de la base de données. De préférence, l'individu de référence est choisi et/ou déterminé à partir des patients de la base de données, par exemple la forme moyenne d'au moins une partie, et de préférence de la totalité, de l'ensemble des patients de la base de données, ou l'individu s'en rapprochant le plus. La morphologie de référence peut être obtenue par une analyse configurée pour aligner les scans 3D dans un seul et même repère par des opérations choisies parmi des opérations de rotation, translation et de mise à l'échelle. Selon un exemple, cette analyse est une analyse Procrustes, de préférence effectuée à partir des points homologues 1100 positionnés sur les scans 3D

de la base de données. Cette analyse est couramment utilisée pour comparer les formes après suppression des composantes en rotation, translation et mise à l'échelle. La morphologie de référence permet de constituer une grille (pouvant être traduit en anglais par le terme « patch ») de référence à appliquer au scan 3D du patient. L'individu de référence peut être choisi lors de la constitution de la base de données, et de préférence être mis à jour lors d'une mise à jour de la base de données, décrite en détail ultérieurement.

- [0083] À partir du positionnement 110 des points homologues, le scan 3D peut être traité de façon à aligner les points homologues 1100 du patient à ceux de l'individu de référence. Pour cela, la grille de référence peut être plaquée sur le scan 3D. La grille est ensuite déformée pour faire coïncider les points homologues 1100 de la grille et ceux du scan 3D du patient. Des points semi-homologues 1110 peuvent ensuite être déterminés 111 pour constituer les données caractéristiques de la morphologie du patient. On peut prévoir que ces points soient disposés sur la grille, approximativement à équidistance les uns des autres entre les points homologues 1100, de façon à cartographier la surface du scan 3D.
- [0084] De préférence, la technique dite des points semi-homologues glissants, pouvant être traduite en anglais par *sliding semilandmarks*, est utilisée. Cela permet d'améliorer la correspondance biologique des points semi-homologues 1110 entre les patients, et donc de fiabiliser encore le procédé 1. Les points semi-homologues 1110 glissent itérativement sur la grille 60, comme par exemple illustré par la [Fig.4]. Le processus d'itération se répète jusqu'à minimiser la déformation de la grille. Le positionnement d'au moins 200 et de préférence au moins 300 points semi-homologues peut ainsi être optimisé 111.
- [0085] Les points homologues et/ou semi-homologies peuvent ensuite être replacés de façon similaire aux patients de la base de données, de façon à placer tous les individus dans le même espace. Pour cela, une deuxième analyse Procruste peut être effectuée pour aligner l'ensemble des points homologues 1100 et/ou semi-homologues 1110 avec l'ensemble des individus de la base de données.
- [0086] Les données caractéristiques de la morphologie du patient 6 peuvent comprendre un jeu de points homologues 1100 et un jeu de points semi-homologues 1110 comprenant au moins 200 et de préférence au moins 300 points, ces jeux de points étant disposés dans un espace tridimensionnel, comme par exemple illustré par la [Fig.4].
- [0087] Afin de limiter la redondance entre les données caractéristiques de la morphologie de différents patients, le procédé peut comprendre une réduction 112 de la dimensionnalité de ces données. Cette réduction 112 peut être effectuée à l'aide de toute technique d'analyse multidimensionnelle accessible à l'homme du métier, selon la nature des données (par exemple, qualitatives ou quantitative). Ainsi le volume de

données introduit dans le modèle d'apprentissage automatique peut être réduit, tout en retenant l'essentiel de l'information tridimensionnelle de la morphologie du patient.

- [0088] Selon un exemple, cette réduction 112 peut être effectuée à l'aide d'une analyse en composantes principales (communément abrégé ACP). L'ACP a pour effet de projeter les données dans une base de composantes principales orthogonales, afin de limiter le nombre de variables nécessaires pour appréhender les variations géométriques entre les individus, et ne conserver que les données projetées sur ce nombre limité de variables.
- [0089] À titre d'exemple, la [Fig.5] représente la proportion de variance exprimée 8 par les données caractéristiques de la morphologie représentées, en fonction du nombre de composantes principales retenues 7. En conservant les données projetées dans une base comprenant les quatre premières composantes principales, 75 % de la variance est exprimée, et 95% en conservant les données projetées dans une base comprenant les vingt premières composantes principales.
- [0090] De préférence, les données projetées dans une base comprenant au moins les quatre, de préférence au moins les dix, et plus préférentiellement au moins les vingt, premières composantes principales sont conservées dans l'ensemble 12 de données qui sera introduit 13 dans le modèle d'apprentissage automatique.
- [0091] Les figures 6A et 6B représentent un exemple de données projetées d'un patient (en noir) dont les données caractéristiques de sa morphologies ont été déterminées plusieurs fois, à partir de scans distincts, et de l'ensemble des patients de la base de données (en blanc) dans deux plans définis par les trois premières composantes principales désignées PC 1 : 70, PC2 : 71 et PC3 : 73. La variabilité des données de l'ensemble des patients est bien supérieure à la variabilité des données pour un seul patient dont l'analyse a été répliquée. L'erreur analytique éventuellement liée à la posture du patient, à l'acquisition par le scanner 3D, ou au placement des points homologues s'avère faible face à la variabilité naturelle des données de l'ensemble des patients.
- [0092] L'ensemble 12 de données relatives au patient, introduit 13 dans le modèle d'apprentissage automatique, peut comprendre les données caractéristiques de la morphologie du patient, issues des traitements précédemment détaillés. En outre, cet ensemble 12 peut comprendre des données additionnelles 120. Ces données 120 peuvent être des données d'information clinique du patient. L'ajout de ces données permet de compléter les caractéristiques morphologies du patient, et ainsi d'améliorer encore le procédé 1. Par exemple, ces données 120 peuvent comprendre des informations obtenues par un questionnaire médical, tels que les questionnaires BERLIN et NOSAS communément employés pour le prédiagnostic du SAHOS. En alternative ou en complément, ces données 120 peuvent comprendre différentes mesures morphologiques ou physiologiques telles que le tour de hanche, les périmètres cervicaux et ab-

dominaux, l'indice de masse corporelle IMC, calculé sur la base de la masse et de la taille du patient, l'hypertension artérielle. En alternative ou en complément, ces données 120 peuvent comprendre un critère représentatif de l'anatomie pharyngée, par exemple qualifiée selon le système de classification de Mallampati. Notons que la réduction de la dimensionnalité peut être appliquée pour les données additionnelles 120.

[0093] Par ailleurs, cet ensemble 12 peut comprendre des données supplémentaires 121 caractéristiques de la morphologie du patient dans une position de prognathie et/ou une position de rétrognathie, ces positions de préférence les positions maximales atteignables par le patient. Pour cela, un scan 3D peut être acquis pour l'une ou chacune de ces positions. Ce ou ces scan(s) 3D peuvent être traités de la façon détaillée précédemment pour le scan 3D en position normale. L'ajout de ces données permet de prendre en compte les données de l'espace cricomeatal pour obtenir l'indice d'apnées+hypopnées, et ainsi améliorer encore le procédé 1. En outre, la prise en compte de l'espace cricomeatal peut permettre de prédire la réussite d'une prothèse d'avancée mandibulaire pour le traitement du SAHOS.

[0094] L'ensemble 12 de données relatives au patient est introduit 13 dans le modèle d'apprentissage automatique. Le modèle d'apprentissage automatique est entraîné sur la base de données. L'entraînement consiste en une phase d'apprentissage, réalisée sur des cas validés. Le modèle d'apprentissage automatique peut avoir été entraîné par plusieurs procédures de classification supervisée. À titre non limitatif, on peut citer différents types d'analyses discriminantes, la machine à vecteur de support, l'arbre de décision, les réseaux de neurones, les algorithmes basés sur les ensembles tels que par exemple les forêts aléatoires (désignés aussi forêts d'arbre décisionnel), les algorithmes communément nommés dans le domaine par « *Extreme gradient boosting* », abrégé XGBoost, « *Adaptive Boosting* », abrégé ADABOOST, le « *majority voting* », le « *soft voting* », ou leur combinaison. L'algorithme XGBoost présente notamment l'avantage d'accepter les données manquantes dans un ensemble de données. L'homme du métier est à même de choisir la procédure d'apprentissage appropriée, notamment en évaluant le pouvoir prédictif du modèle, de même que l'erreur associée. Le modèle d'apprentissage automatique entraîné est configuré pour prédire au mieux un indice d'apnées+hypopnées à partir de l'ensemble de données 12. L'erreur associée à l'indice d'apnées+hypopnées prédit 14 pour l'ensemble 12 de données, peut être transmise 160 et/ou affichée 161 à l'opérateur avec l'indice d'apnées+hypopnées.

[0095] Comme énoncé précédemment, la base de données comprend une pluralité d'ensembles de données de patients. Chaque ensemble de données peut comprendre des données de morphologie d'un patient de l'ensemble, l'indice d'apnées+hypopnées de ce patient, complétées des données additionnelles 120 et supplémentaires 121 dé-

taillées précédemment. De préférence, au moins une partie des ensembles, et de préférence chaque ensemble, comprend les mêmes données, issues des mêmes traitements, que l'ensemble 12 de données introduit 13 dans le modèle d'apprentissage automatique. Notons que la base de données est de préférence anonyme, pour se conformer aux exigences relatives à la protection des données.

- [0096] Selon un exemple, la base de données peut comprendre des groupes regroupant plusieurs ensembles de données de patients distincts, regroupés par exemple selon leur type anthropologique. En effet, la fiabilité de la prédiction par le modèle d'apprentissage automatique peut être améliorée en comparant les caractéristiques morphologies pour un type anthropologique donné. Pour cela, l'ensemble 12 de données introduit 13 dans le modèle peut comprendre une valeur, par exemple qualitative, d'une classe représentative du type anthropologique, par exemple Caucasiens, Africain, Asiatique.
- [0097] Si le patient dont on a cherché à obtenir l'indice d'apnées+hypopnées effectue une polygraphie ou une polysomnographie, par exemple suite au diagnostic 15 posé, la base de données peut être mise à jour 17. Pour cela, l'indice d'apnées+hypopnées et son ensemble de données peuvent être transmis 171 au serveur 3 pour être ajoutés à la base de données. Le modèle d'apprentissage automatique peut être réévalué sur la nouvelle base de données, notamment pour améliorer son pouvoir prédictif et minimiser l'erreur de la prédiction. Le modèle peut ainsi lui-même être mise à jour, pour être utilisé pour les futures prédictions. Par exemple, le modèle mis à jour peut être envoyé depuis le serveur distant 3 au produit programme d'ordinateur 2. La base de données peut de préférence être mise à jour avec des patients sains, afin de ne pas biaiser le modèle avec la seule introduction de patients souffrant de la pathologie.
- [0098] Une étude clinique a été réalisée sur une base de données d'environ 300 patients. Cette étude a démontré qu'il existe un lien entre la morphologie d'un patient et sa propension à présenter un SAHOS. À partir du scan 3D du patient, il a été montré que le procédé 1 permet d'obtenir l'indice d'apnées+hypopnées avec des capacités de discrimination supérieures à celles des outils généralement employés pour un pré-diagnostic préalablement à la polysomnographie et la polygraphie ambulatoire, tels que les questionnaires NOSAS et BERLIN.
- [0099] Au vu de la description qui précède, il apparaît clairement que l'invention propose une solution pour fiabiliser et/ou de standardiser, par l'analyse de caractéristiques morphologiques d'une partie supérieure du corps humain, le diagnostic d'une pathologie, et plus particulièrement le diagnostic du syndrome d'apnée-hypopnée obstructive du sommeil.
- [0100] L'invention n'est pas limitée aux modes de réalisations précédemment décrits et s'étend à tous les modes de réalisation couverts par l'invention. La présente invention

ne se limite pas aux exemples précédemment décrits. Bien d'autres variantes de réalisation sont possibles, par exemple par combinaison de caractéristiques précédemment décrites, sans sortir du cadre de l'invention. En outre, les caractéristiques décrites relativement à un aspect de l'invention peuvent être combinées à un autre aspect de l'invention.

Revendications

[Revendication 1]

Procédé (1) de détermination d'un indice d'apnées+hypopnées d'un patient ou d'une labélisation fonction d'un indice d'apnées+hypopnées, comprenant :

- une fourniture (10) d'un ensemble de données relatives à un patient, à un serveur distant (3) ou un produit programme d'ordinateur (2), l'ensemble de données relatives au patient comprenant, ou permettant de déterminer, des données caractéristiques de la morphologie au moins maxillo-faciale du patient par rapport à une morphologie de référence, lesdites données caractéristiques étant fonction du positionnement (110) d'au moins quatre points homologues, sur un scan 3D d'une portion de la tête (6) du patient représentant sa morphologie au moins maxillo-faciale,
- une introduction (13) de l'ensemble (12) de données relatives au patient, comprenant les données caractéristiques de la morphologie au moins maxillo-faciale du patient, dans un modèle d'apprentissage automatique entraîné pour prédire un indice d'apnées+hypopnées, ou une labélisation fonction d'un indice d'apnées+hypopnées, pour ledit ensemble de données, à partir d'une pluralité d'ensembles de données d'une base de données relative à un ensemble de patients distincts, chaque ensemble de données de la base de données :
 - comprenant des données de morphologie au moins maxillo-faciale relatives à un patient de l'ensemble, et
 - étant associé à un indice d'apnées+hypopnées, ou une labélisation fonction d'un indice d'apnées+hypopnées,

de sorte que le modèle d'apprentissage prédit (14) un indice d'apnées+hypopnées ou une labélisation fonction d'un indice d'apnées+hypopnées, à l'ensemble de données relatives au patient.

[Revendication 2]

Procédé (1) selon la revendication précédente, dans lequel :

- lorsque l'indice d'apnées+hypopnées prédit (14) pour l'ensemble de données relatives au patient est supérieur à 15, ou

- la labélisation présentant au moins une valeur associée à un risque faible de présenter une pathologie et au moins une valeur associée à un risque avéré de présenter la pathologie, lorsque la labélisation prédite (14) présente l'au moins une valeur associée au risque avéré,

le procédé comprend le diagnostic (15) de la pathologie du patient, par exemple du syndrome d'apnées-hypopnées obstructives du sommeil.

[Revendication 3]

Procédé (1) selon la revendication précédente, dans lequel :

- lorsque l'indice d'apnées+hypopnées prédit (14) pour l'ensemble de données relatives au patient est compris entre 15 et 30, ou
- la labélisation présentant au moins une valeur associée à un risque avéré modéré de présenter une pathologie, et au moins une valeur associée à un risque avéré sévère de présenter une pathologie, lorsque la labélisation prédite (14) présente l'au moins une valeur associée au risque avéré modéré,

le patient est diagnostiqué (15) d'un syndrome d'apnée-hypopnée obstructive du sommeil de degré modéré (150), et

- lorsque l'indice d'apnées+hypopnées prédit (14) pour l'ensemble de données relatives au patient est supérieur à 30, ou
- lorsque la labélisation prédite (14) présente l'au moins une valeur associée au risque avéré sévère,

le patient est diagnostiqué (15) d'un syndrome d'apnée-hypopnée obstructive du sommeil de degré sévère (150).

[Revendication 4]

Procédé (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes dans lequel, l'ensemble fourni de données relatives au patient comprenant un scan 3D d'une portion de la tête (6) du patient représentant la morphologie au moins maxillo-faciale du patient, le procédé comprend, préalablement à l'introduction (13) de l'ensemble de données relatives au patient dans le modèle d'apprentissage automatique :

- un positionnement (110) des au moins quatre points homologues sur le scan 3D,

- la détermination (11), à partir des points homologues positionnés, des données caractéristiques de la morphologie au moins maxillo-faciale du patient par rapport à la morphologie de référence.

- [Revendication 5] Procédé (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel, l'ensemble fourni de données relatives au patient comprenant un scan 3D d'une portion de la tête (6) du patient, sur lequel les au moins quatre points homologues sont positionnés, le procédé comprend, préalablement à l'introduction (13) de l'ensemble (12) de données relatives au patient dans le modèle d'apprentissage automatique, la détermination (11), à partir des au moins quatre points homologues positionnés (110), des données caractéristiques de la morphologie au moins maxillo-faciale du patient par rapport à la morphologie de référence.
- [Revendication 6] Procédé (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel l'ensemble fourni de données relatives au patient comprend les données caractéristiques de la morphologie au moins maxillo-faciale du patient par rapport à la morphologie de référence, telles que déterminées (11) en fonction du positionnement (110) des points homologues sur le scan 3D.
- [Revendication 7] Procédé (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'ensemble de données relatives au patient comprend en outre, ou permet de déterminer en outre, des données caractéristiques de la morphologie submandibulaire du patient par rapport à la morphologie de référence, lesdites données étant fonction du positionnement d'au moins trois points homologues supplémentaires, sur le scan 3D d'une portion de la tête (6) du patient représentant sa morphologie maxillo-faciale et submandibulaire.
- [Revendication 8] Procédé (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la détermination des données caractéristiques de la morphologie au moins maxillo-faciale du patient par rapport à la morphologie de référence comprend une réduction de la dimensionnalité (112) des données issues du positionnement des au moins quatre points homologues, par exemple par une analyse en composantes principales.
- [Revendication 9] Procédé (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'ensemble de données relatives au patient comprend en outre des données additionnelles (120) d'informations cliniques sur le patient, par exemple choisies parmi un indice de corpulence du patient,

des indices de l'obstruction des voies aériennes supérieure d'examen clinique, des données de questionnaire médical, le modèle d'apprentissage automatique étant entraîné pour prédire l'indice d'apnées+hypopnées, ou la labélisation fonction d'un indice d'apnées+hypopnées, pour ledit ensemble de données, à partir de la pluralité d'ensembles de données de la base de données, chaque ensemble de données de la base de données comprenant lesdites données additionnelles d'informations cliniques relatives à un patient de l'ensemble.

- [Revendication 10] Procédé (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'ensemble de données relatives au patient comprend en outre, ou permet de déterminer en outre, des données supplémentaires (121) caractéristiques de la morphologie maxillo-faciale du patient dans au moins une position parmi une position de prognathie et une position de rétrognathie.
- [Revendication 11] Procédé (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, le procédé comprenant l'acquisition (18) du scan 3D d'une portion de la tête (6) du patient représentant sa morphologie au moins maxillo-faciale, l'acquisition du scan 3D comprenant une vérification (180) de l'alignement de la tête (6) du patient, par un dispositif d'alignement (41).
- [Revendication 12] Procédé (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel, lorsque l'ensemble de données relatives au patient est fourni à un serveur distant (3), le procédé comprend le renvoi (160), depuis le serveur distant (3) vers un produit programme d'ordinateur (2), de l'indice d'apnées+hypopnées, ou de la labélisation, prédit(e) pour l'ensemble des données relatives au patient.
- [Revendication 13] Procédé (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel, lorsque l'ensemble de données relatives au patient est fourni (10) à un produit programme d'ordinateur (2) ou lorsqu'un programme produit d'ordinateur (1) reçoit l'indice d'apnées+hypopnées, ou la labélisation, renvoyé(e) (160) depuis le serveur distant (3), le procédé comprend l'affichage (161), par le produit programme d'ordinateur (2), de l'indice d'apnées+hypopnées, ou de la labélisation, prédit(e) pour l'ensemble des données relatives au patient.
- [Revendication 14] Serveur distant (3) apte à communiquer avec un produit programme d'ordinateur (2), pour la mise en œuvre du procédé (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 13, comprenant :

- une base de données relative à un ensemble de patients distincts comprenant une pluralité d'ensembles de données, chaque ensemble de données de la base de données :
 - comprenant des données de morphologie au moins maxillo-faciale relatives à un patient de l'ensemble,
 - étant associé à un indice d'apnées+hypopnées, ou une labélisation fonction d'un indice d'apnées+hypopnées, et
- un modèle d'apprentissage automatique entraîné pour prédire un indice d'apnées+hypopnées, ou une labélisation fonction d'un indice d'apnées+hypopnées, pour ledit ensemble de données, à partir de la base de données,

le serveur distant (3) étant configuré pour :

- recevoir (100) l'ensemble de données relatives au patient comprenant, ou permettant de déterminer, des données caractéristiques de la morphologie au moins maxillo-faciale du patient par rapport à une morphologie de référence, lesdites données étant fonction du positionnement (110) d'au moins quatre points homologues, sur un scan 3D d'une portion de la tête (6) du patient représentant sa morphologie au moins maxillo-faciale,
- introduire (13) l'ensemble (12) de données relatives au patient, comprenant les données caractéristiques de la morphologie au moins maxillo-faciale du patient, dans le modèle d'apprentissage automatique entraîné, de sorte que le modèle d'apprentissage prédit (14) un indice d'apnées+hypopnées, ou une labélisation fonction d'un indice d'apnées+hypopnées, pour l'ensemble de données relatives au patient.

[Revendication 15] Serveur distant (3) selon la revendication précédente, le serveur distant (3) étant configuré pour mettre à jour (17) la base de données suite à une réception (171) d'un ensemble de données relatives au patient, complété de l'indice d'apnées+hypopnées du patient mesuré (170) par polysomnographie ou polygraphie ambulatoire.

[Revendication 16] Produit programme d'ordinateur (2) pour la mise en œuvre du procédé

(1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 13, comprenant des instructions, qui lorsqu'elles sont effectuées par au moins un processeur, exécute au moins, un envoi (101) au serveur distant (3) de l'ensemble de données relatives au patient, l'ensemble de données relatives au patient comprenant, ou permettant de déterminer, des données caractéristiques de la morphologie au moins maxillo-faciale du patient par rapport à une morphologie de référence, lesdites données étant fonction du positionnement (110) d'au moins quatre points homologues, sur un scan 3D d'une portion de la tête (6) du patient représentant sa morphologie au moins maxillo-faciale.

[Revendication 17]

Produit programme d'ordinateur (2) pour la mise en œuvre du procédé (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 13, comprenant des instructions, qui lorsqu'elles sont effectuées par au moins un processeur, exécute au moins :

- la réception (100) de l'ensemble de données relatives au patient comprenant, ou permettant de déterminer, des données caractéristiques de la morphologie au moins maxillo-faciale du patient par rapport à une morphologie de référence, lesdites données étant fonction du positionnement (110) d'au moins quatre points homologues, sur un scan 3D d'une portion de la tête (6) du patient représentant sa morphologie au moins maxillo-faciale,
- l'introduction (13) de l'ensemble (12) de données relatives au patient, comprenant les données caractéristiques de la morphologie au moins maxillo-faciale du patient, dans le modèle d'apprentissage automatique entraîné pour prédire un indice d'apnées+hypopnées, ou une labélisation fonction d'un indice d'apnées+hypopnées, pour ledit ensemble de données, à partir d'une pluralité d'ensembles de données d'une base de données relative à un ensemble de patients distincts, chaque ensemble de données de la base de données :
 - comprenant des données de morphologie au moins maxillo-faciale relatives à un patient de l'ensemble, et
 - étant associé à un indice d'apnées+hypopnées, ou une labélisation fonction d'un indice d'apnées+hypopnées,

de sorte que le modèle d'apprentissage prédit (14) un indice d'apnées+hypopnées ou une labélisation fonction d'un indice d'apnées+hypopnées, pour l'ensemble de données relatives au patient.

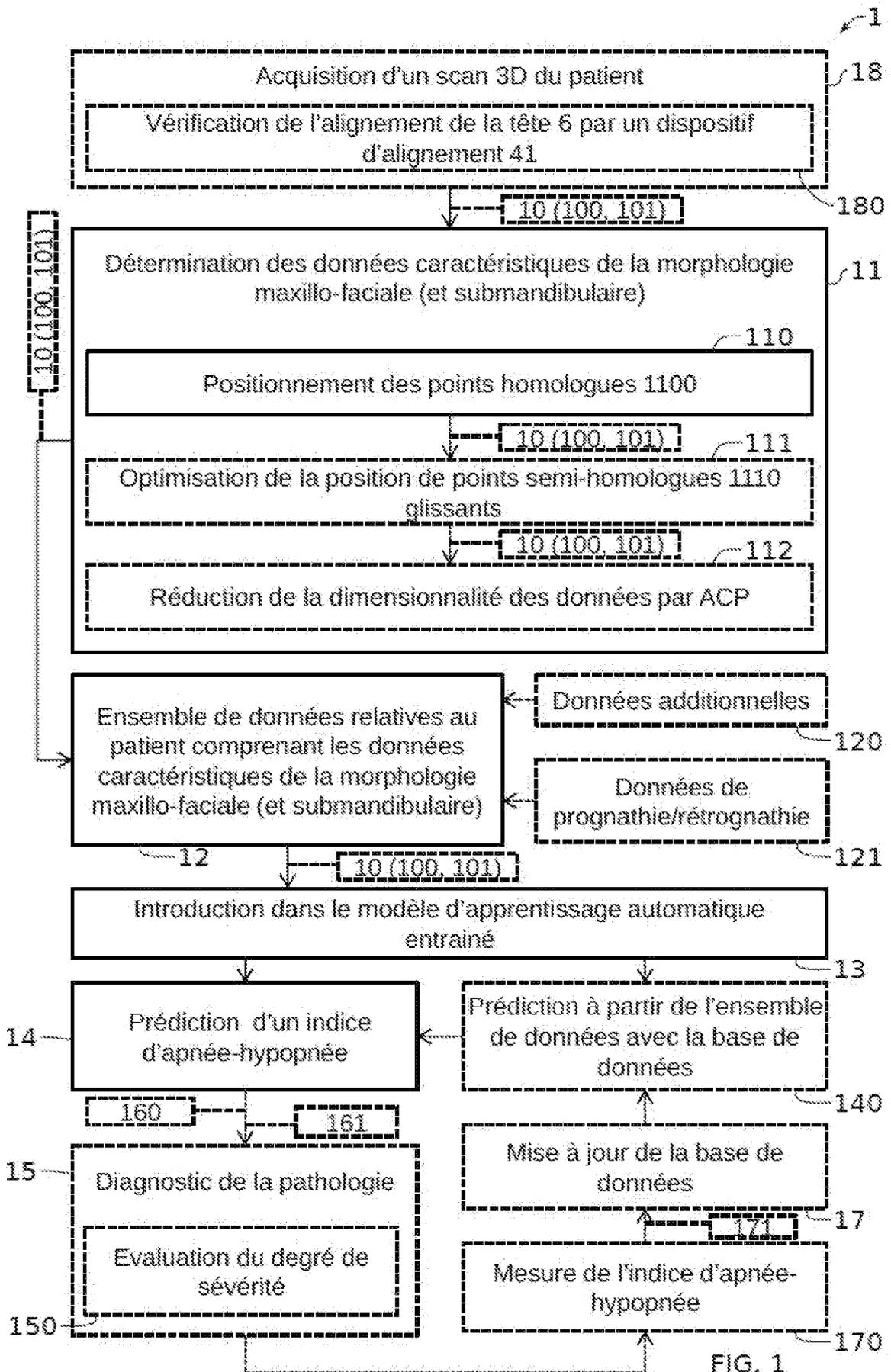
[Revendication 18]

Kit (4) pour la mise en œuvre du procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 13, comprenant au moins un produit programme d'ordinateur (2) selon l'une quelconque des deux revendications précédentes, un scanner (40) apte à l'acquisition du scan 3D d'une portion de la tête (6) du patient représentant sa morphologie au moins maxillo-faciale.

[Revendication 19]

Kit (4) selon la revendication précédente, comprenant en outre un dispositif d'alignement (41) de la tête (6) du patient.

[Fig. 1]



[Fig. 2]

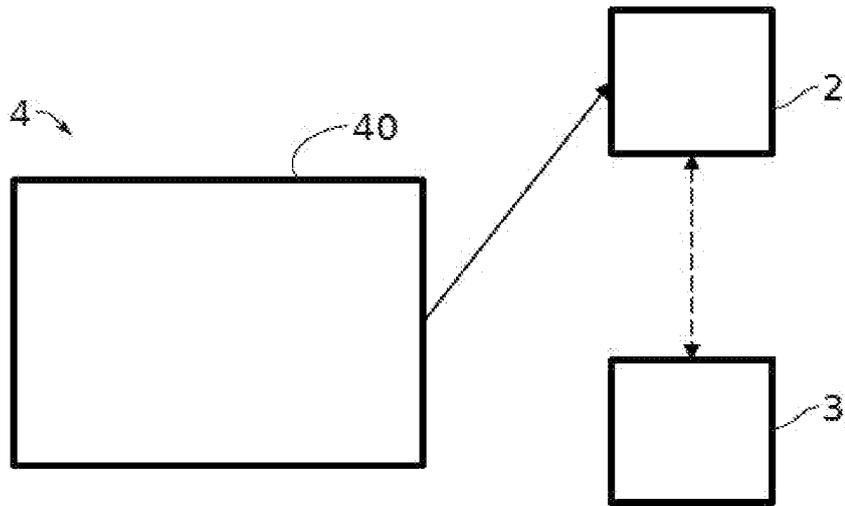


FIG. 2

[Fig. 3]

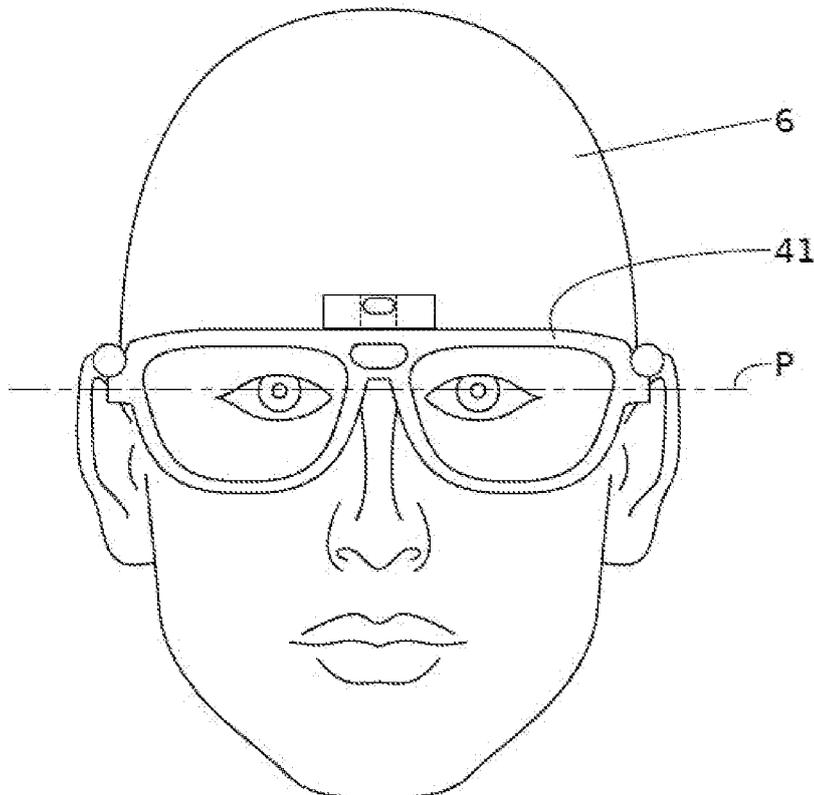


FIG. 3

[Fig. 4]

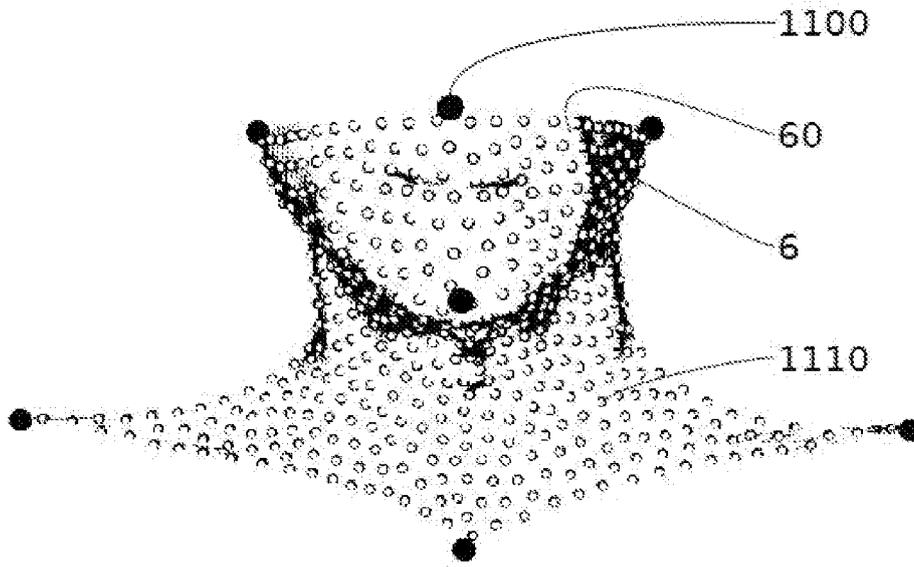


FIG. 4

[Fig. 5]

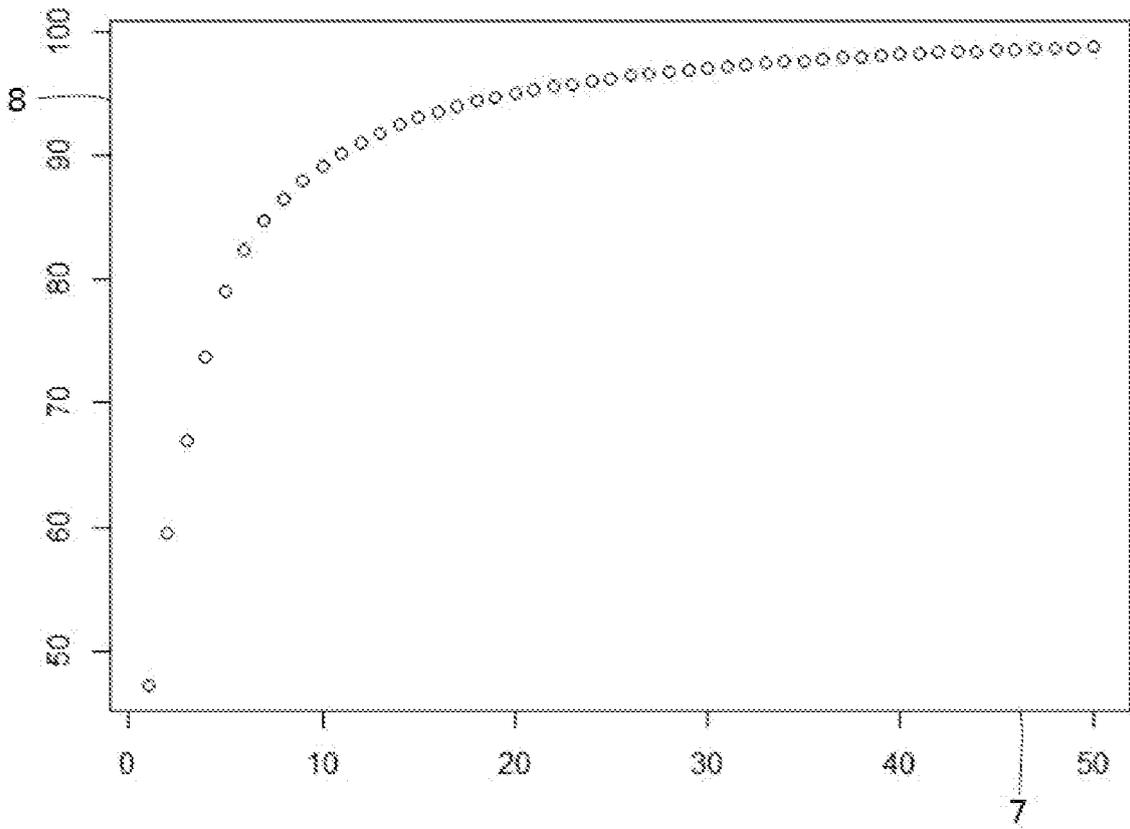


FIG. 5

[Fig. 6A]

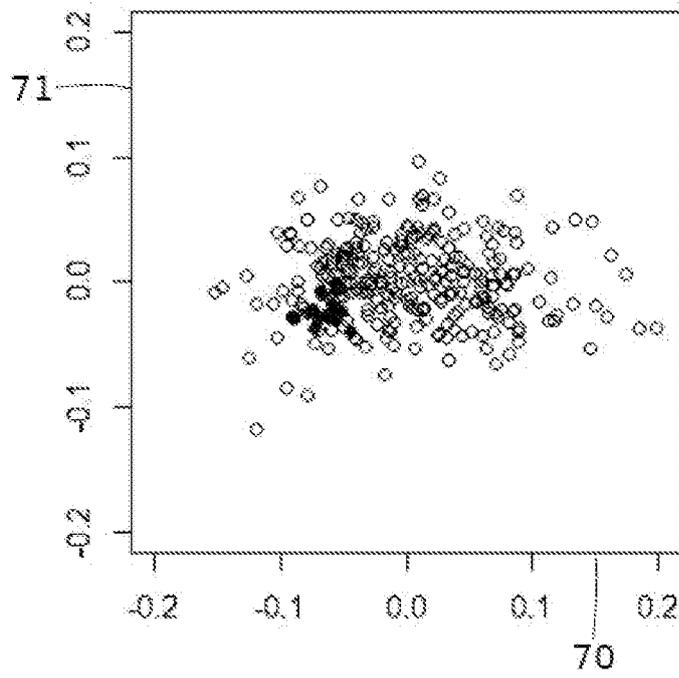


FIG. 6A

[Fig. 6B]

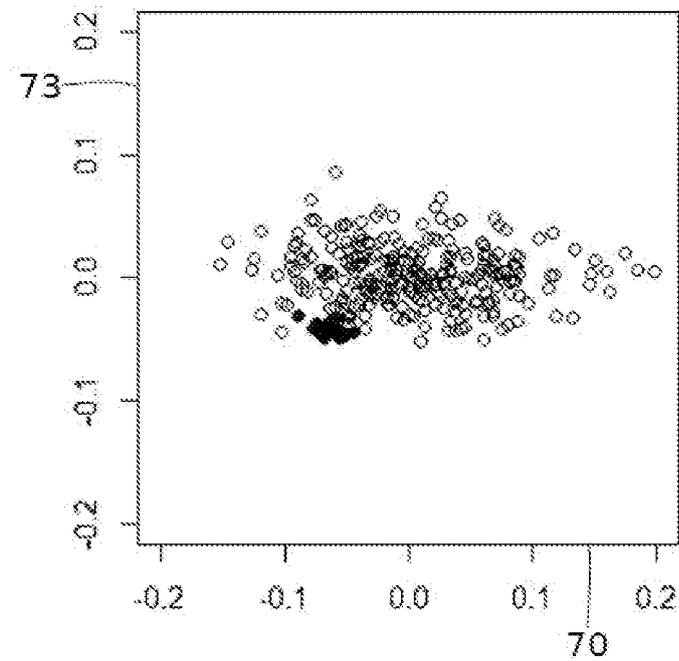


FIG. 6B

RAPPORT DE RECHERCHE

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

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

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

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

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

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

Le demandeur a maintenu les revendications.

Le demandeur a modifié les revendications.

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

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

Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

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

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

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

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

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

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

WO 2013/098435 A1 (UNIV MADRID POLITECNICA [ES]) 4 juillet 2013 (2013-07-04)

ISLAM SYED MS ET AL: "Deep Learning of Facial Depth Maps for Obstructive Sleep Apnea Prediction",
2018 INTERNATIONAL CONFERENCE ON MACHINE LEARNING AND DATA ENGINEERING (ICMLDE),
IEEE,
3 décembre 2018 (2018-12-03), pages 154-157, XP033502211,
DOI: 10.1109/ICMLDE.2018.00036
[extrait le 2019-01-15]

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

SAEED M BANABILH ET AL: "Craniofacial obesity in patients with obstructive sleep apnea",
SLEEP AND BREATHING ; INTERNATIONAL JOURNAL OF THE SCIENCE AND PRACTICE OF SLEEP MEDICINE, SPRINGER, BERLIN, DE,
vol. 13, no. 1,
2 septembre 2008 (2008-09-02), pages 19-24, XP019650735,
ISSN: 1522-1709

GAO SHUWEI ET AL: "Facial Feature as Predictor for Early-Persistence OSAS After Adenotonsillectomy in Children With Moderate to Severe OSAS",
IT PROFESSIONAL, IEEE SERVICE CENTER, LOS ALAMITOS, CA, US,
vol. 22, no. 4,
1 juillet 2020 (2020-07-01), pages 35-42, XP011799600,
ISSN: 1520-9202, DOI:
10.1109/MITP.2020.3001238
[extrait le 2020-07-16]

WO 2020/227856 A1 (HUIJIA HEALTH LIFE TECH CO LTD [CN]) 19 novembre 2020 (2020-11-19)

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

NEANT