

ESPACES DE TRAVAIL

3.1 Introduction

Dans le chapitre précédent (2), nous avons présenté les caractéristiques anatomiques des régions dans lesquelles le robot sera amené à travailler. Cependant, les dimensions de ces espaces, et les variations de ces dimensions selon les personnes, n'ont pas été étudiées. Pourtant, connaître l'espace de travail est très important dans une phase de conception en robotique. Selon la dimension de cet/ces espace(s), le choix de l'architecture du robot est différent, ainsi que son dimensionnement par exemple.

Ainsi, ce chapitre consacré aux espaces de travail vise à répondre à plusieurs questions :

- *quelles sont les dimensions des espaces de travail de l'oreille et du massif facial ?*
- *comment le robot est-il situé par rapport à ces espaces de travail ?*

Pour répondre à ces interrogations, le premier objectif de ce chapitre sera de présenter les espaces de travail de l'oreille (3.2) et du massif facial (3.3). Une revue de la littérature est présentée pour chaque région anatomique, puis la réalisation d'un atlas géométrique destiné à l'application robotique.

Un second objectif sera de connaître les positions du patient sur la table d'opération, afin de définir les contraintes de placement du robot en lien avec le patient (3.4).

3.2 Espace de travail dans la chirurgie de l'oreille

En chirurgie otologique, l'endoscopie est utilisée le plus souvent pour des gestes d'exérèse de cholestéatomes [5], comme vu dans le chapitre 2.3. L'oreille externe et moyenne sont donc les sites dans lesquels l'endoscopie est principalement utilisée ; l'espace de travail est alors défini par ces deux régions anatomiques. Nous avons vu dans le chapitre 2.2 les différentes parties constituant ces régions :

- l’oreille externe est constituée par le pavillon et le conduit auditif externe (Figure 2.2).
- l’oreille moyenne par la membrane tympanique et la caisse du tympan (Figure 2.4).

Il est possible d’utiliser l’endoscope lors de chirurgies par voie mastoïdienne, voire au niveau du conduit auditif interne. Mais dans ces situations cliniques, plus rares, l’espace de travail est plus large et peut varier à la demande en fonction du fraisage osseux réalisé par le chirurgien.

L’espace de travail dans la chirurgie endoscopique a plusieurs particularités :

- ses dimensions varient de façon physiologique, selon les sujets. Cependant, il n’est pas retrouvé de différence significative en fonction du sexe, de l’âge ou du côté de l’oreille [44].
- en pathologie, les dimensions peuvent varier d’une absence complète de ces régions anatomiques (aplasie) à un volume élargi à volonté par le chirurgien (en carcinologie par exemple).

Dans la littérature, les analyses sont le plus souvent radiologiques et s’intéressent au conduit auditif externe, aux osselets ou à la mastoïde.

Ainsi, l’équipe parisienne ayant développé le Robotol [9] a réalisé une étude d’après 12 scanners afin de mesurer l’espace de travail correspondant au spéculum chirurgical, au conduit auditif externe et à la partie visible de la caisse du tympan. Ils ont alors obtenu des dimensions maximales, et réalisé une approximation géométrique d’après ces données. Ils obtiennent alors un cône tronqué de 32×40 mm et un cylindre de 34×16 mm, tel que représenté Figure 3.1.

Pacholke et al [45] ont calculé le volume moyen de l’oreille moyenne d’après 15 scanners, dans une étude ayant pour objectif de contourner les structures à préserver avant irradiation. L’oreille moyenne était définie, sur scanner, par la membrane tympanique latéralement et par l’interface entre l’air et l’os temporal dans toutes les autres directions. Ce volume était estimé à 580 mm^3 , avec une dimension axiale maximale de 1570 mm. Ces données sont à rapprocher de celles de Mas et al. [46], qui ont évalué ce même volume entre 520 et 620 mm^3 d’après 18 scanners.

L’étude la plus vaste a été réalisée d’après 100 scanners [44] et a évalué le volume du conduit auditif externe à 1,4 mL et celui de l’oreille moyenne à 1,1 mL. Ce volume diminuait significativement en cas d’otite moyenne chronique. Cependant, ce volume, mesuré

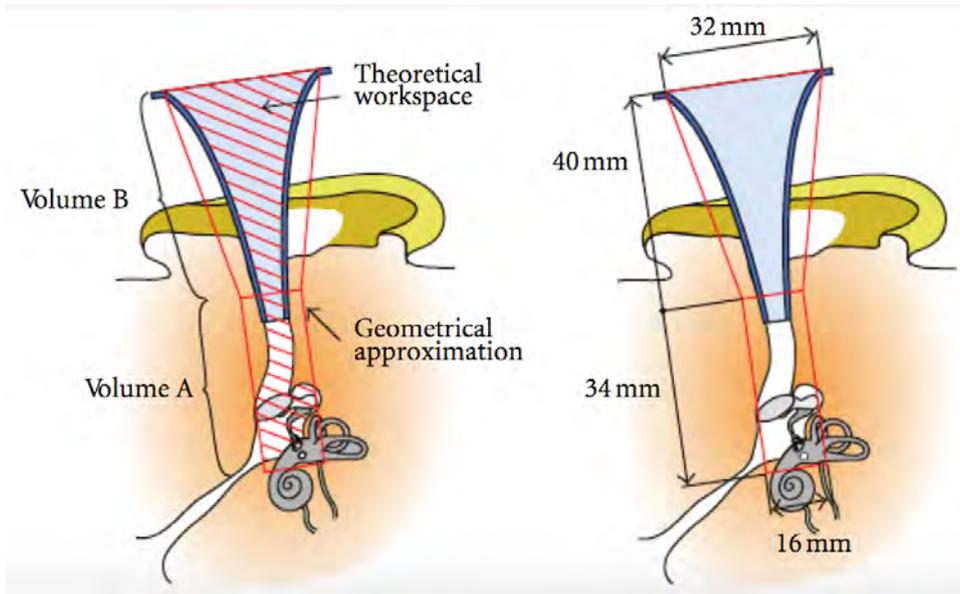


FIGURE 3.1 – Espace de travail schématique d’une oreille droite en position opératoire. L’espace de travail théorique a été maximisé (surface hachurée) puis une approximation géométrique obtenue (cylindre et cône tronqué). Les dimensions maximales ont été estimées d’après données scanographiques [9].

par une autre équipe sur 91 patients [47] ne retrouvait pas de différence de volume en fonction de l’âge ou du sexe du patient.

D’autres études se sont intéressées plus spécifiquement à la mastoïde : Dillon et al. [16], sur des cadavres, et Cros et al. [48], à partir d’une dizaine de scanners. Cependant, comme vu précédemment, la mastoïde n’est pas un espace de travail préférentiel pour la chirurgie endoscopique, et peut être élargi à la demande par un fraisage.

Au total, les données disponibles dans la littérature varient d’une étude à l’autre, et nous n’avons pas retrouvé de mesures géométriques de l’oreille moyenne dans sa totalité. Il était donc nécessaire de réaliser un atlas géométrique de ces régions anatomiques, afin de mieux préciser notre espace de travail.

3.2.1 Matériels et Méthodes

Afin de définir les dimensions de cet espace de travail, nous avons sélectionné rétrospectivement des patients admis au CHU de Nantes et ayant bénéficié d’un scanner des

rochers en 2018. Les scanners ont été analysés de façon aléatoire de façon à obtenir un groupe de patients de sexes et d'âges différents.

Les patients présentant des malformations anatomiques contre-indiquant la chirurgie endoscopique (aplasie) ou déjà opérés avec fraisage des structures osseuses étaient exclus de l'étude.

Une analyse sur coupes osseuses de scanners des rochers a été réalisée, avec diverses mesures (Figure 3.3) :

- $CAE_{d_lateral}$: diamètre du méat acoustique externe,
- $CAE_{d_diameter}$: diamètre du conduit auditif externe au sulcus,
- CAE_{length} : longueur du conduit auditif externe en coupe axiale,
- OM_{height} : hauteur de l'oreille moyenne (cellules hypotympaniques – tegmen tympani),
- OM_{width} : longueur entre rétrotympanium et protympanum (sinus tympani – orifice tubaire),
- OM_{ap_length} : longueur entre membrane tympanique et platine.

Une reconstruction tri-dimensionnelle de l'espace de travail a été réalisée à l'aide du logiciel Vue PACS v. 11.3 de Carestream (Figure 3.2), pour faciliter la représentation de cet espace lors de communications.

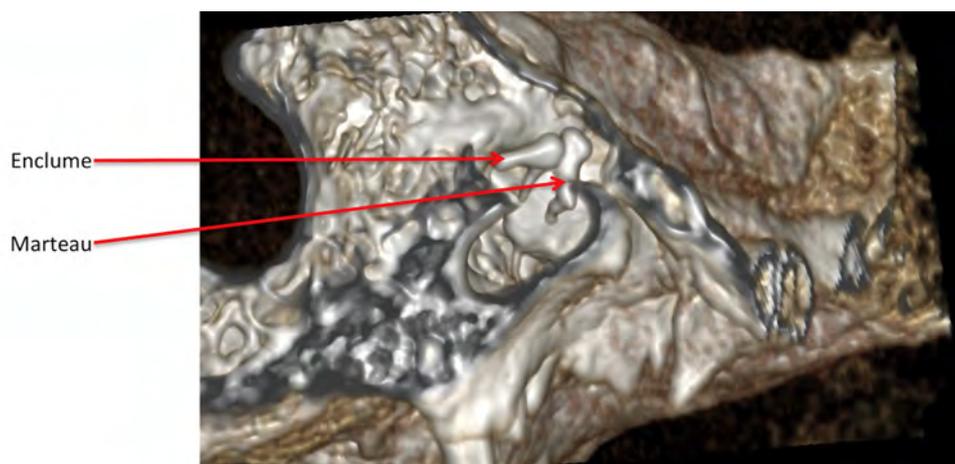


FIGURE 3.2 – Modélisation tri-dimensionnelle de la caisse du tympan d'un rocher droit à partir de scanner, dans l'axe d'utilisation de l'endoscope.

Une analyse anonymisée sur tableur Excel v.14.5 incluait les moyennes et les écarts types. Les analyses statistiques ont été faites avec le logiciel SPSS v.20, en utilisant le test de corrélation de Pearson.

3.2.2 Résultats

De janvier à mars 2018, 36 patients ont été inclus, d'âge moyen 39 ans (2 ; 81). Le sex ratio était de 1 :1. 17 rochers droits ont été analysés, et 19 rochers gauche.

Le schéma en Figure 3.3 représente l'espace de travail obtenu, avec un cylindre pour le conduit auditif externe et un parallélépipède rectangle pour la caisse du tympan.

Les flèches rouges représentent les axes d'insertion de l'endoscope les plus extrêmes permis par cet espace de travail, avec le centre de rotation théorique de l'endoscope.

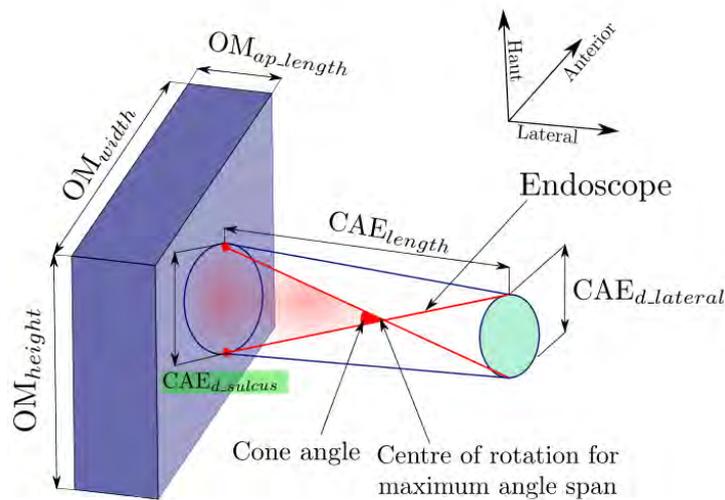


FIGURE 3.3 – Schéma de l'espace de travail incluant oreille externe et oreille moyenne, d'après 36 scanners de rocher au CHU de Nantes.

Le diamètre moyen du CAE était de 6,01 mm (3,9-7,3) latéralement, et 7,9 mm (6,2-11,1) médialement, c'est-à-dire au sulcus. La longueur moyenne du CAE était de 26,9 mm (22,5-35,3).

Le volume moyen du conduit auditif externe était de 1,32 cm³. Ce volume est proche du volume retrouvé dans la littérature : 1,4 mL d'après scanners [44] ; entre 1,1 et 1,7 mL d'après tympanométrie [49].

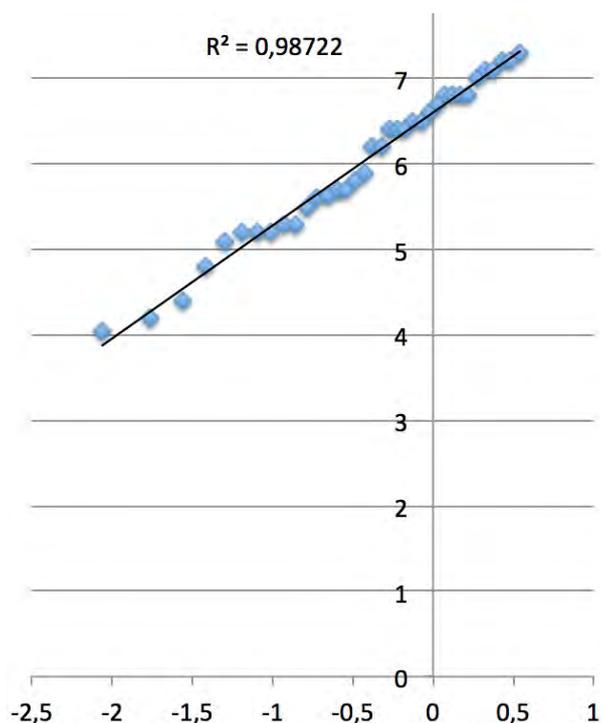


FIGURE 3.4 – Valeurs de l’espace de travail de l’oreille, avec distribution normale ($r^2=0.987$)

La hauteur moyenne de la caisse du tympan était de 16,2 mm (14,1-19,4), tandis que sa largeur était de 10,8 mm (7,6-12,3) et sa profondeur de 5,7 mm (3,1-7,2). Le volume moyen de la caisse du tympan était 0,99 cm³. Ce volume est compatible avec les données retrouvées dans la littérature, entre 0,52[46] et 1,1[44].

Ces valeurs sont distribuées en suivant une loi normale ($r^2 > 0.9$), tel qu’illustré en Figure 3.4. Grâce à l’analyse des percentiles, on peut estimer que 90% des patients auront un CAE avec un diamètre compris entre 4,35 et 7,2 mm latéralement, entre 6,2 et 10,2 médialement, et une longueur comprise entre 22,5 et 34,6 mm. 90% des patients auraient une caisse du tympan avec une hauteur comprise entre 14,3 et 19,1 mm, une largeur comprise entre 8,2 et 13,5 mm, et une profondeur comprise entre 4,3 et 7,3 mm.

Cette analyse des percentiles nous donne des valeurs correspondant à 90% des patients. Les valeurs maximales permettent de calculer l’amplitude dont le robot à besoin pour explorer la totalité de l’espace de travail. Les valeurs minimales sont décisives pour savoir dans quelles circonstances le robot ne pourrait pas être utilisé. Nous savons que les endoscopes ont habituellement un diamètre de 2,7 mm, les aspirations un diamètre com-

pris entre 0,8 et 1,4 mm, et les micro-instruments entre 1,0 et 2,5 mm (de la micro-pointe à la micro-pince). Ainsi, pour les patients présentant les valeurs anatomiques minimales, il pourrait être difficile d'insérer tous les instruments au niveau de l'extrémité latérale du CAE. Une petite incision cutanée à ce niveau devrait aider dans cette situation clinique particulière. Cependant, d'après cette analyse, il ne devrait pas y avoir de difficulté à insérer tous les instruments au niveau de l'extrémité médiale du CAE, même dans les conditions anatomiques minimales. D'après ces données, aucun fraisage osseux ne devrait être nécessaire dans cette situation, mais les mouvements seraient plus contraints.

Lors des analyses statistiques, il était retrouvé un diamètre du conduit auditif externe significativement plus petit à son entrée lorsque l'âge était plus faible ($p=0,03$), mais pas au niveau du sulcus. La longueur était également plus courte en fonction de l'âge ($p=0,013$).

Aucune différence statistique n'était retrouvée au niveau de la caisse du tympan en fonction de l'âge, ni au niveau des mesures de l'espace de travail en fonction du sexe ou du côté.

3.3 Espace de travail dans la chirurgie endonasale

Le massif facial présente un espace de travail plus vaste et plus profond que celui de l'oreille.

Sa structure est complexe et comprend plusieurs sinus ; ses dimensions dépendent de l'application souhaitée : du sinus à traiter, de l'accès à son méat ou de l'ouverture du sinus pour entrer l'endoscope à l'intérieur.

L'équipe de Burgner [10] a ainsi caractérisé l'espace de travail pour atteindre la base du crâne par voie endonasale, à l'aide de scanner de 7 patients (âge et sexe non renseignés). Cet espace de travail est insuffisant pour la chirurgie des sinus maxillaires ou frontaux, mais donne des informations en termes de profondeur jusqu'au sphénoïde et à la base du crâne.

Les auteurs retrouvaient un espace de travail rectangulaire de 16×35 mm (Figure 3.5), restreint par la narine en porte d'entrée. La distance de la narine à l'hypophyse était de 10 cm.

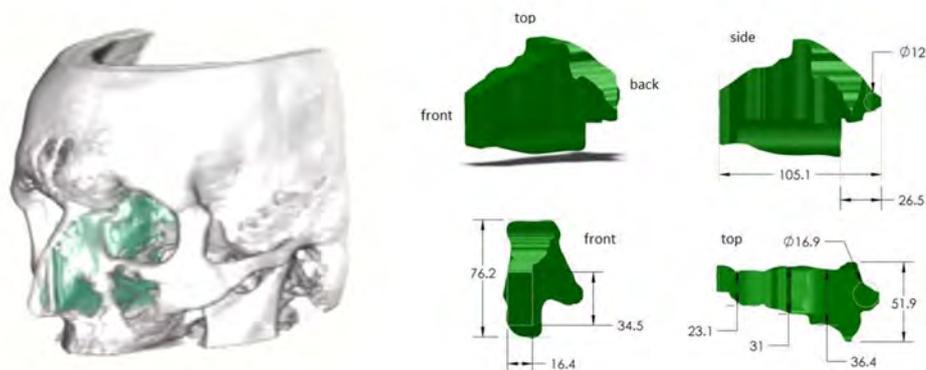


FIGURE 3.5 – Espace de travail pour la chirurgie de la base du crâne par voie endonasale (à gauche) et ses volumes d'après scanner (à droite), d'après Burgner [10].

D'autres auteurs se sont intéressés à l'espace de travail d'après chirurgie, et non d'après scanner. L'équipe de Eichhorn [11] a réalisé une étude sur le point pivot autour duquel tourne l'endoscope, d'après 23 chirurgies endonasales. Les positions de l'endoscope ont été enregistrées, permettant la définition d'un cube équivalent à l'espace de travail de l'extrémité de l'endoscope. Les dimensions du cube durant une chirurgie endonasale étaient $16,59 \times 11,38 \times 6,30$ mm et $1,19$ cm². Les auteurs ont alors modélisé un plan pivot, où toutes les positions pivots de l'endoscope sont situées lorsqu'il rentre dans les fosses nasales. Ce plan pivot mesurait $3,93 \times 2,31$ mm (Figure 3.6).

Une autre étude réalisée par Trévillet et al [12] étudiait la position d'un endoscope 30° durant 13 ethmoïdectomies réalisées en laboratoire d'anatomie. La position de l'endoscope était fournie par un système de tracking optique basé sur des marqueurs LED infra-rouges. Dans le plan sagittal, l'endoscope tournait de 26° à 66° ; dans le plan axial, entre 34° et 68° ; autour de l'endoscope entre 42° et 71°. La vitesse était comprise entre 12°/s et 57°/s selon les plans. La profondeur de pénétration de l'endoscope dans les fosses nasales variait entre 70 et 100 mm.

Les auteurs ont ensuite établi une région fixe pour chaque sinus, qui renferme le centre de rotation. Ces régions sont nommées par les auteurs boîtes sinusiennes, représentées en Figure 3.7a. Ces "boîtes sinusiennes" sont incluses dans une boîte plus grande, à l'intérieur de laquelle le centre de rotation restera lorsque toute la fosse nasale sera explorée. La position de cette dernière boîte est représentée sur les coupes de scanner (Figure 3.7b). Les dimensions de cette boîte étaient de 4,8 à 20,9 mm selon x , 13,8 à 30,9 mm selon y et 7,2 à 34,9 mm selon z . Ces variations s'expliquaient par les différences anatomiques entre

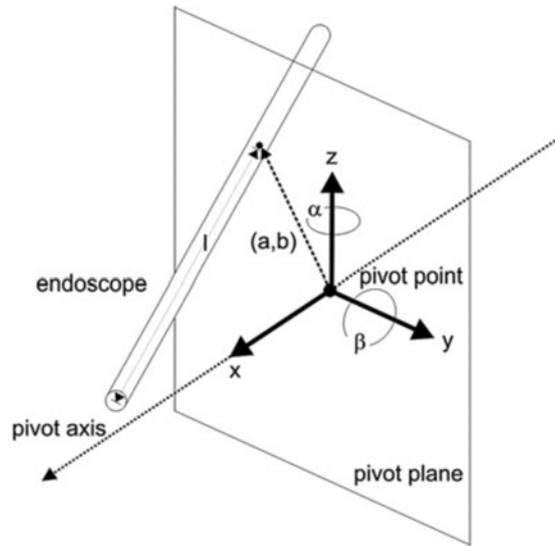


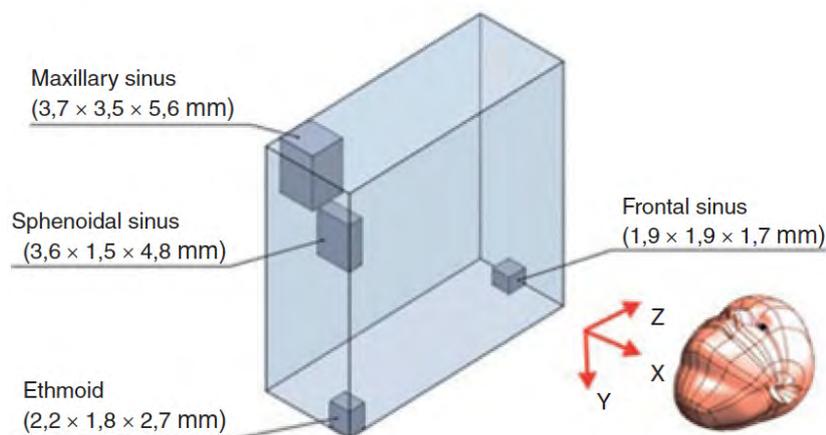
FIGURE 3.6 – Diagramme du plan pivot d’après Eichhorn[11]. Le point pivot est représenté à l’entrée des fosses nasales, ainsi que les rotations et translations autour de ce point pivot.

les patients et les différentes techniques chirurgicales.

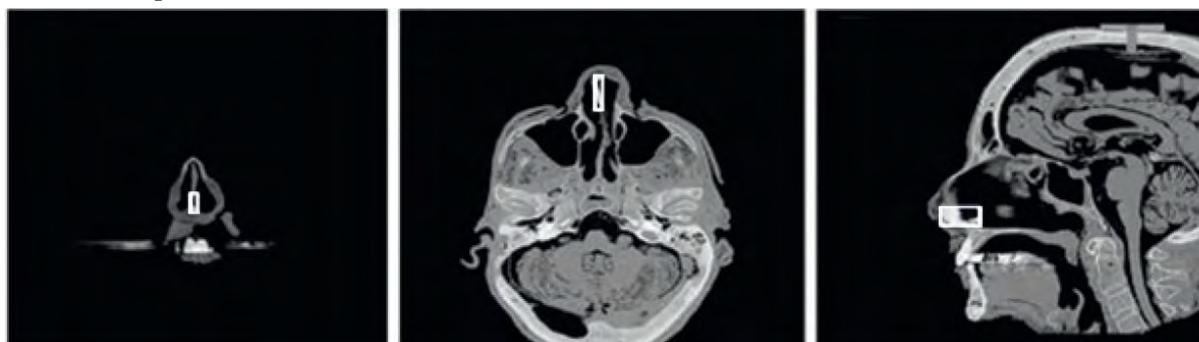
Ces données vont dans le même sens que celles étudiées par l’équipe de Lombard et al. [13], d’après les données de navigation au bloc opératoire utilisant des endoscopes 30° et 45°, lors de chirurgies endonasales classiques (méatotomies moyennes, ethmoïdectomies, sphénoïdotomies) et plus rares (Draf-3, résection d’adénocarcinomes de l’ethmoïde et de la base du crâne).

La profondeur d’insertion des endoscopes variait de 35 à 112 mm. Selon la cible chirurgicale, le type d’endoscope (30° ou 45°), le choix de position du chirurgien et l’anatomie du patient, la position des points pivots variait significativement. Cependant, ces points restaient tous inclus dans un pseudo-cône, dont la base était une ellipse de 23 mm de grand axe, et le sommet centré sur la narine de 16 mm de grand axe. La hauteur de ce volume était de 14 mm. Ce volume est représenté en Figure 3.8. Les points pivots pouvaient être intra ou extra nasaux.

Ces différentes études nous donnent de précieuses informations sur l’espace de travail pour accéder à la base du crâne ou sur les positions des points pivots de l’endoscope. Cependant, aucune étude ne permet de délimiter l’ensemble de l’espace de travail du massif facial en vue d’une application robotique.



(a) Volume englobant les localisations des centres de rotation d'un endoscope 30°, en fonction de la chirurgie sinusienne réalisée.



(b) Localisation de ce volume sur différentes coupes de scanner.

FIGURE 3.7 – Analyse du centre de rotation de l'endoscope dans la chirurgie endonasale, d'après Trevillot et al [12].

Comme pour l'oreille, il était donc nécessaire de réaliser un atlas géométrique du massif facial, afin de mieux préciser notre espace de travail.

3.3.1 Matériels et Méthodes

Afin de définir les dimensions de cet espace de travail, nous avons sélectionné rétrospectivement des patients admis au CHU de Nantes et ayant bénéficié d'un scanner des sinus en 2019. Les scanners ont été analysés de façon aléatoire de façon à obtenir un groupe de patients de sexes et d'âges différents.

Les patients ayant déjà été opérés des sinus étaient exclus de l'étude.

Nous avons défini l'espace de travail du massif facial par l'ensemble des fosses nasales

3.3. Espace de travail dans la chirurgie endonasale

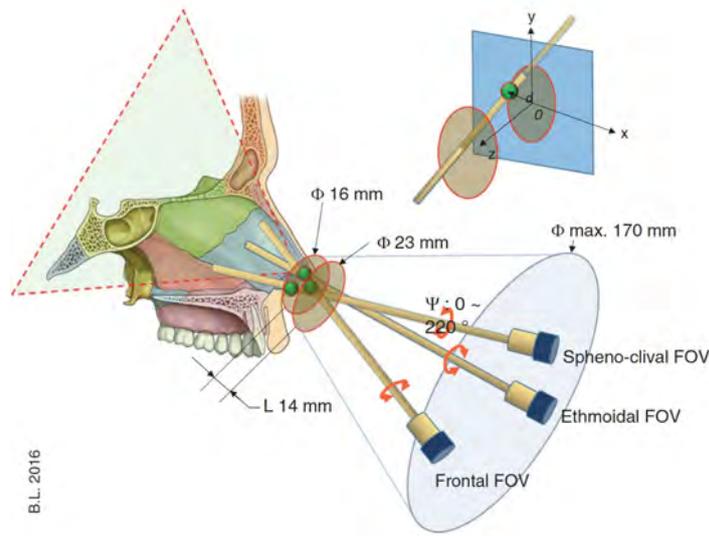


FIGURE 3.8 – Volume incluant les centres de rotation des endoscopes 30° et 45° lors de chirurgies endonasales [13]. *FOV* : *Field of View*.

et des sinus, jusqu'à leurs parois externes. Cet espace anatomique comprend donc les fosses nasales, de leur plancher au toit de l'éthmoïde, les sinus maxillaires droit et gauche jusqu'à leur bord latéral, et la paroi pharyngée postérieure en limite postérieure.

Cet espace de travail est donc probablement sur-évalué, car l'extrémité de l'endoscope a rarement besoin d'atteindre la paroi la plus latérale d'un sinus. Cependant, cela permet de garantir que le robot ne soit pas pris en défaut quelle que soit l'indication, y compris en cancérologie.

Une analyse sur coupes osseuses de scanners des sinus a été réalisée, avec diverses mesures (Figure 3.9) :

- *Workspace_depth* : distance entre l'orifice piriforme et la paroi pharyngée postérieure,
- *Workspace_width* : distance entre la paroi latérale du sinus maxillaire et le septum nasal de chaque côté,
- *Workspace_height* : distance entre le plancher des fosses nasales et le toit de l'éthmoïde au niveau du canal naso-frontal,
- *Nasal_fossae_width* : distance entre le septum nasal et le méat moyen de chaque côté,

- hauteur de l’orifice piriforme, qui correspond à l’orifice d’entrée de l’endoscope et le plus souvent au site de centre de rotation déporté (RCM).

Comme pour l’espace de travail de l’oreille, une analyse anonymisée sur tableur Excel v.14.5 et une analyse statistique avec SPSS v.20 (test de corrélation de Pearson) ont été réalisées.

3.3.2 Résultats

Nous avons inclus 23 patients, d’âge et de sexes variables (patients de 11 à 95 ans).

La Figure 3.9 présente l’espace de travail obtenu, avec deux parallélépipèdes rectangles correspondant aux espaces des fosses nasales et ethmoïdes jusqu’à la paroi pharyngée postérieure ; et deux triangles accolés correspondant aux deux sinus maxillaires droit et gauche.

Nous pouvons visualiser en rouge les différentes positions de l’endoscope, avec le point pivot situé à l’orifice narinaire. On peut voir que la course maximale de l’endoscope peut atteindre 90° , démontrant l’importance d’obtenir un espace de travail pour le robot d’au moins $\pm 45^\circ$. Mais en pratique clinique, pour accéder à la paroi antérieure du sinus maxillaire sans retirer trop d’os, le chirurgien utilise le plus souvent un endoscope 70° ; la course de l’endoscope est ainsi inférieure à 90° . Parfois, le septum nasal séparant les deux fosses nasales peut être retiré, ce qui élargit l’espace de travail.

La profondeur moyenne, i.e. la distance entre orifice piriforme et paroi pharyngée postérieure, était de 77,04 mm (59-94). Cette dimension correspond à la profondeur d’insertion retrouvée dans la littérature, de 70 à 100 mm pour Trevillot [12] et de 35 à 112 mm pour Lombard [13].

La distance moyenne entre la paroi latérale du sinus maxillaire et le septum était de 39,26 mm (27-47). Si l’on considère la distance sans entrer dans le sinus maxillaire (distance entre septum et méat moyen), comme cela est le plus souvent le cas en pratique, alors la mesure moyenne était de 13,74 mm (9-18).

La hauteur moyenne, i.e. la distance entre le plancher des fosses nasales et le toit de l’ethmoïde, était de 55,39 mm (42-67).

Enfin, la hauteur moyenne de l’orifice piriforme, qui délimite la porte d’entrée de cet espace de travail, était de 29,57 mm (21-36).

3.3. Espace de travail dans la chirurgie endonasale

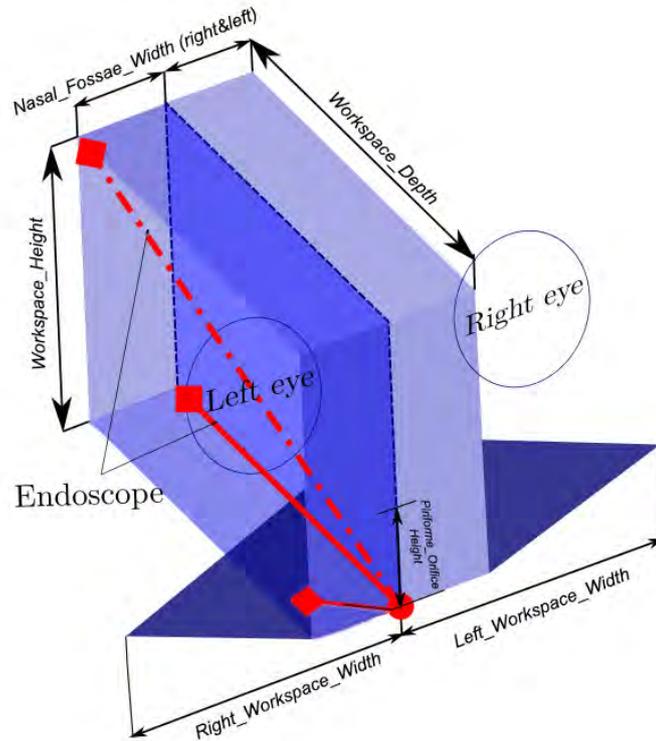


FIGURE 3.9 – Schéma de l'espace de travail du massif facial, d'après 23 scanners des sinus au CHU de Nantes.

Ces valeurs étaient distribuées suivant une loi normale ($r^2 > 0.8$). Grâce à l'analyse des percentiles, on peut estimer que 90% des patients auraient des fosses nasales de profondeur comprise entre 10,1 et 17,5 mm et de hauteur comprise entre 47,1 et 66,9 mm. La distance entre le septum nasal et la paroi latérale du sinus maxillaire serait comprise entre 31,3 et 44,5 mm. 90% des patients auraient un orifice piriforme d'une hauteur comprise entre 24,2 et 34,9 mm.

A la différence de l'espace de travail de l'oreille, l'orifice piriforme est environ six fois plus grand que le CAE. Il n'y a alors pas de difficulté à insérer l'endoscope et deux outils additionnels par la narine dans le même temps, y compris dans les conditions minimales de l'analyse des percentiles.

Aucune différence statistique n'était retrouvée en fonction de l'âge, du sexe ou du

côté considéré. Cependant, il faut noter qu’un seul patient de notre série avait moins de 20 ans ; âgé de 11 ans, il avait donc tous ses sinus formés, même si les sinus sphénoïdes et frontaux étaient encore susceptibles de croître. Une série de patients de moins de 10 ans aurait bien sûr montré une variation importante de taille des sinus par rapport aux adultes, car certains sinus n’auraient pas encore été formés.

3.4 Position du robot par rapport à l’espace de travail

Nous avons défini précédemment les différents espaces de travail auxquels l’architecture robotique doit pouvoir s’adapter. Cependant, le robot doit aussi prendre en compte les variations de position du patient.

En effet, durant la chirurgie de l’oreille ou de sinus, le patient est positionné en decubitus dorsal, c’est-à-dire sur le dos.

Cependant, la position de sa tête varie :

- selon le type de table et de têtère,
- selon la morphologie du patient,
- selon le type de chirurgie réalisée,
- selon les habitudes du praticien.

Pour la chirurgie otologique, la tête doit être inclinée vers le côté opposé à celui opéré, et parfois légèrement mise en extension, de sorte à ce que la mastoïde soit à l’horizontale : c’est la position optimale, présentée en Figure 3.10, à gauche.

Mais un patient âgé ne peut parfois pas tourner la tête en raison d’une arthrose cervicale évoluée, et il est alors impossible de mettre la mastoïde en position optimale pour l’insertion de l’endoscope, tel que présenté Figure 3.10, à droite. Ainsi, l’axe d’entrée de l’oreille peut être basculé jusqu’à 53°.

Le robot doit alors pouvoir s’adapter à ces modifications “hors espace de travail”.

Durant une chirurgie endonasale, la tête est le plus souvent placée en flexion antérieure, afin d’accéder plus aisément aux espaces antérieurs et supérieurs du massif facial (Figure 3.11a).

Mais la morphologie du patient peut influencer sur la position de la tête du patient. Ainsi, un patient obèse ou avec un cou court ne pourra pas être mis correctement en hyperflexion lors d’une chirurgie sinusienne. La tête restera alors plus horizontale, telle

3.4. Position du robot par rapport à l'espace de travail

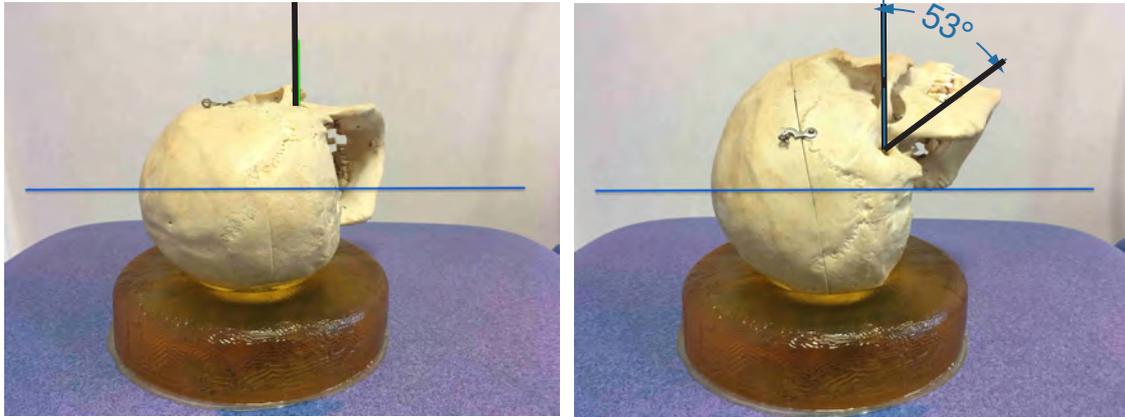
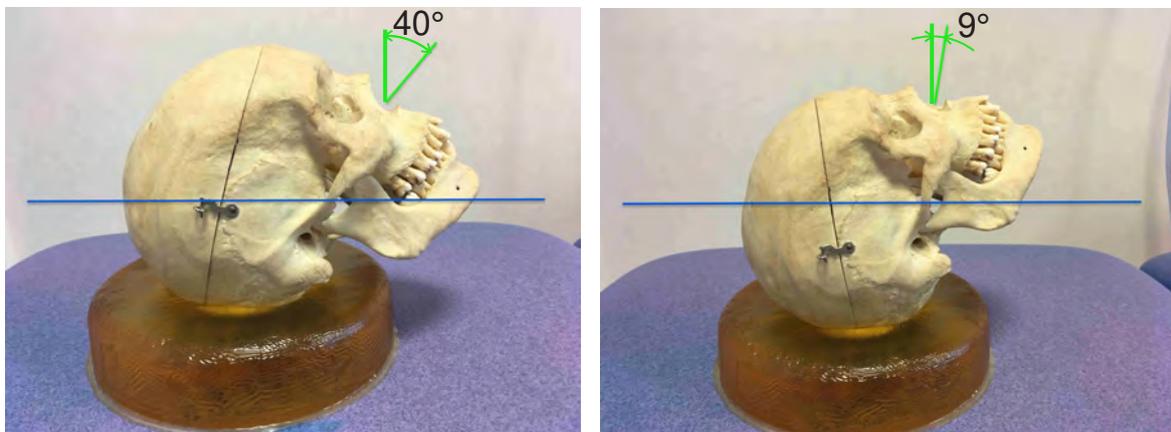


FIGURE 3.10 – Placement de l'oreille par rapport à la table opératoire, en position optimale (à gauche) et défavorable (à droite).

que présentée Figure 3.11b. Cette position peut également être rendue nécessaire par des raisons médicales : en cas d'arthrodèse cervicale par exemple, une flexion du rachis n'est en général pas possible et le patient doit rester en position horizontale.



(a) Flexion antérieure de la tête.

(b) Position horizontale de la tête, en raison d'une impossibilité de flexion.

FIGURE 3.11 – Variations de positions de la tête lors d'une chirurgie endonasale. *Axe de la table en bleu, axe d'insertion de l'endoscope en vert compris entre 9° et 40°.*

Pour objectiver ces différences de positionnement de la tête du patient en fonction des situations, nous avons réalisé ces mises en situation avec une maquette de crâne, dans des positions en situation minimale et maximale pour ces deux types de chirurgie.

Le choix de l'architecture du robot est important afin de lui permettre de s'adapter à ces différentes situations. Plus son espace de travail est grand, grâce à de larges amplitudes de mouvements, et moins le chirurgien sera contraint par le robot lors de l'installation du patient ou de la manipulation du robot. Ainsi, l'oreille ne doit pas être positionnée en fonction du robot, mais c'est le robot qui doit s'adapter aux différents positionnements et morphologies. Un choix d'architecture basé sur l'oreille moyenne pourrait fortement restreindre le champ d'application du robot à d'autres aires anatomiques, telles que la chirurgie sinusienne ou la neurochirurgie.

Les contraintes que l'on utilisera dans la suite de ce travail sont d'avoir un robot avec un centre de rotation déporté et possédant un espace de travail lui permettant de s'incliner d'environ ± 1 radian (57°) pour pouvoir s'adapter aux chirurgies des oreilles et des sinus comme illustré sur la Figure 3.12. Cet espace de travail sera noté par la suite *espace de travail souhaité*. En fonction du paramétrage utilisé, il prendra la forme d'un carré ou d'un cercle. La Figure 3.12 montre les mouvements de l'endoscope lorsque l'espace de travail est représenté en azimut-inclinaison.

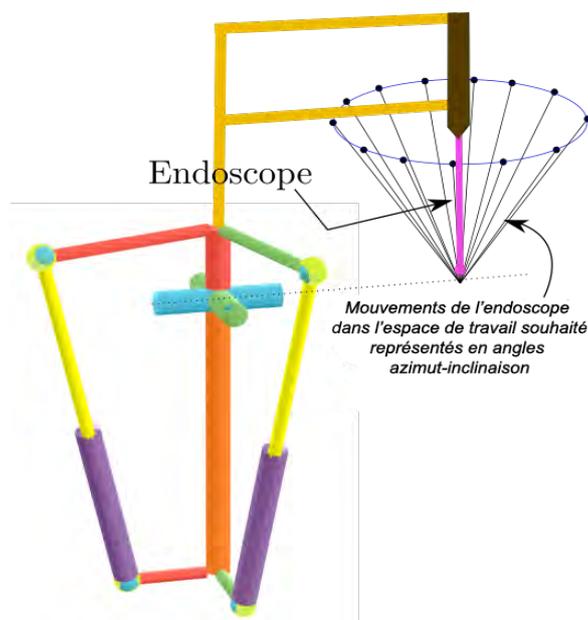


FIGURE 3.12 – Visualisation des mouvements de l'endoscope dans la représentation azimut-inclinaison

Dans la Figure 3.13, l'espace de travail est représenté en coordonnées polaires. Il est très simple de visualiser et de comprendre l'espace de travail dans cette représentation.

L'espace couvert dans la Figure 3.13 n'est rien d'autre que la base du cône de la Fi-

3.4. Position du robot par rapport à l'espace de travail

gure 3.12. La hauteur de ce cône n'est que la représentation de la longueur de l'endoscope, mais n'a aucune signification dans l'orientation de l'espace de travail.

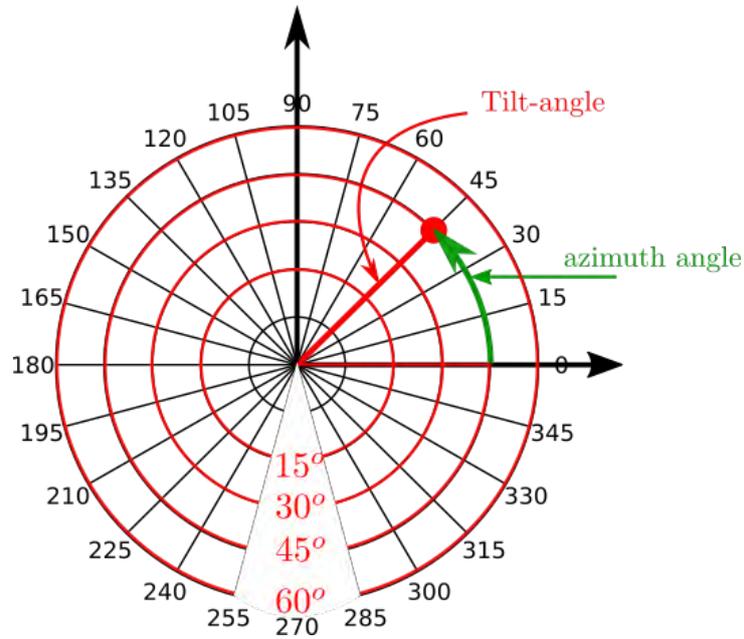


FIGURE 3.13 – La représentation polaire des angles azimutaux d'inclinaison

La Figure 3.14 représente l'espace de travail en fonction du type de paramétrage utilisé. Si l'on prend les angles du cardan, on aura une représentation avec les angles d'Euler. Inversement, si l'on prend les angles azimut-inclinaison, la modélisation sera plus complexe mais plus proche de la mobilité demandée par le chirurgien.

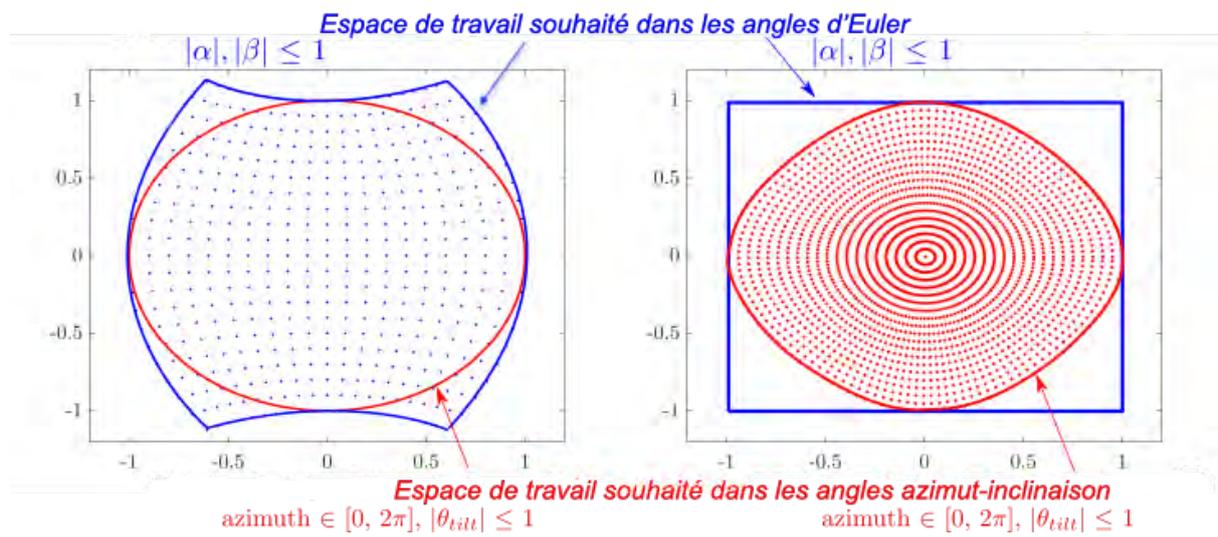


FIGURE 3.14 – Comparaison de l'espace de travail souhaité dans la représentation des angles d'Euler (en bleu) et dans la représentation azimuth-inclinaison (en rouge).

3.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté une revue de la littérature des différents travaux réalisés sur les espaces de travail de l'oreille et du massif facial.

Cependant, en raison de données variables et parcellaires, et en l'absence de mesures géométriques de l'oreille moyenne ou des sinus et fosses nasales dans leur totalité, nous avons décidé de réaliser un atlas géométrique de ces régions anatomiques [50], afin de mieux préciser nos espaces de travail. Cet atlas géométrique a été réalisé d'après scanners de patients d'âge et de sexe différents au sein du CHU de Nantes. Il s'agit des mesures basées sur le plus grand nombre de scanners dans la littérature pour les deux localisations.

Ainsi, pour l'oreille, nous avons pu définir un espace de travail, dont les dimensions s'accordent avec les quelques données principalement volumétriques retrouvées dans la littérature.

Pour le massif facial, la majorité des études s'étaient intéressées aux volumes des différents sinus paranasaux, ainsi qu'à l'influence de diverses pathologies infectieuses ou malformatives sur leur taille ou leur croissance. Le sinus maxillaire était le plus étudié [51, 52], montrant par exemple une diminution de son volume avec l'âge et la perte des dents maxillaires [53]. Pourtant, nous n'avons pas retrouvé d'étude s'intéressant aux dimensions des sinus paranasaux dans leur globalité, déterminant des limites supérieures et inférieures pour définir un espace de travail robotique. Nous avons alors défini cet espace de travail d'après les mesures de scanner exposées dans ce chapitre.

A notre connaissance, il n'existe pas d'autre étude examinant les dimensions des oreilles et des sinus dans leur ensemble, et définissant des limites supérieures et inférieures pour définir un espace de travail robotique.

Bien que les espaces de travail de l'oreille et des sinus présentent des différences certaines en termes de dimensions ou de rapports anatomiques, ils partagent malgré tout plusieurs caractéristiques communes : (i) la même échelle de dimensionnement, comparativement à la chirurgie abdominale ou thoracique, (ii) les mêmes endoscopes, et (iii) les mêmes techniques chirurgicales.

Cette observation permet d'envisager l'utilisation d'un robot pour la chirurgie endoscopique en otologie et en sinus, afin de réduire les coûts de développement, de formation et pour accroître son utilisation dans des structures de soins de petite taille.