



HAL
open science

Intérêt pédagogique du simulateur VOXEL MAN® dans l'apprentissage de la chirurgie otologique : validité de construction, de surface et de contenu

Marion Varoquier

► To cite this version:

Marion Varoquier. Intérêt pédagogique du simulateur VOXEL MAN® dans l'apprentissage de la chirurgie otologique : validité de construction, de surface et de contenu. Sciences du Vivant [q-bio]. 2016. hal-01932185

HAL Id: hal-01932185

<https://hal.univ-lorraine.fr/hal-01932185v1>

Submitted on 23 Nov 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-thesesexercice-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>

UNIVERSITE DE LORRAINE

FACULTE DE MEDECINE DE NANCY

Année 2016

THESE

Pour obtenir le grade de

DOCTEUR EN MEDECINE

Présentée et soutenue publiquement dans le cadre du troisième cycle de Médecine Spécialisée

Par

Marion VAROQUIER

Le 13 juin 2016

**INTERET PEDAGOGIQUE DU SIMULATEUR VOXEL MAN® DANS L'APPRENTISSAGE
DE LA CHIRURGIE OTOLOGIQUE. VALIDITE DE CONSTRUCTION, DE SURFACE ET DE
CONTENU.**

Examineurs de la thèse

Mme le Professeur Cécile PARIETTI-WINKLER

Présidente

M. le Professeur Laurent BRESLER

Juge

M. le Professeur Marc BRAUN

Juge

M. le Docteur Cyril PERRENOT

Juge

Année 2016

THESE

Pour obtenir le grade de

DOCTEUR EN MEDECINE

Présentée et soutenue publiquement dans le cadre du troisième cycle de Médecine Spécialisée

Par

Marion VAROQUIER

Le 13 juin 2016

**INTERET PEDAGOGIQUE DU SIMULATEUR VOXEL MAN® DANS L'APPRENTISSAGE
DE LA CHIRURGIE OTOLOGIQUE. VALIDITE DE CONSTRUCTION, DE SURFACE ET DE
CONTENU.**

Examineurs de la thèse

Mme le Professeur Cécile PARIETTI-WINKLER

Présidente

M. le Professeur Laurent BRESLER

Juge

M. le Professeur Marc BRAUN

Juge

M. le Docteur Cyril PERRENOT

Juge



Président de l'Université de Lorraine :
Professeur Pierre MUTZENHARDT

Doyen de la Faculté de Médecine :
Professeur Marc BRAUN

Vice-doyens

Pr Karine ANGIOI-DUPREZ, Vice-Doyen

Pr Marc DEBOUVERIE, Vice-Doyen

Asseseurs :

Premier cycle : Dr Guillaume GAUCHOTTE

Deuxième cycle : Pr Marie-Reine LOSSER

Troisième cycle : Pr Marc DEBOUVERIE

Innovations pédagogiques : Pr Bruno CHENUUEL

Formation à la recherche : Dr Nelly AGRINIER

Animation de la recherche clinique : Pr François ALLA

Affaires juridiques et Relations extérieures : Dr Frédérique CLAUDOT

Vie Facultaire et SIDES : Dr Laure JOLY

Relations Grande Région : Pr Thomas FUCHS-BUDER

Etudiant : M. Lucas SALVATI

Chargés de mission

Bureau de docimologie : Dr Guillaume VOGIN

Commission de prospective facultaire : Pr Pierre-Edouard BOLLAERT

Orthophonie : Pr Cécile PARIETTI-WINKLER

PACES : Dr Chantal KOHLER

Plan Campus : Pr Bruno LEHEUP

International : Pr Jacques HUBERT

=====
DOYENS HONORAIRES

Professeur Jean-Bernard DUREUX - Professeur Jacques ROLAND - Professeur Patrick NETTER

Professeur Henry COUDANE

=====
PROFESSEURS HONORAIRES

Jean-Marie ANDRE - Daniel ANTHOINE - Alain AUBREGE - Jean AUQUE - Gérard BARROCHE - Alain BERTRAND
Pierre BEY - Marc-André BIGARD - Patrick BOISSEL - Pierre BORDIGONI - Jacques BORRELLY - Michel
BOULANGE - Jean-Louis BOUTROY - Jean-Claude BURDIN - Claude BURLET - Daniel BURNEL - Claude CHARDOT
Jean-François CHASSAGNE - François CHERRIER - Jean-Pierre CRANCE - Gérard DEBRY - Emile de LAVERGNE
Jean-Pierre DESCHAMPS - Jean DUHEILLE - Jean-Bernard DUREUX - Gérard FIEVE - Jean FLOQUET - Robert
FRISCH - Alain GAUCHER - Pierre GAUCHER - Alain GERARD - Hubert GERARD - Jean-Marie GILGENKRANTZ
Simone GILGENKRANTZ - Gilles GROSDIDIER - Oliéro GUERCI - Philippe HARTEMANN - Gérard HUBERT - Claude
HURIET - Christian JANOT - Michèle KESSLER - François KOHLER - Jacques LACOSTE - Henri LAMBERT - Pierre
LANDES - Marie-Claire LAXENAIRE - Michel LAXENAIRE - Alain LE FAOU - Jacques LECLERE - Pierre LEDERLIN -
Bernard LEGRAS - Jean-Pierre MALLIÉ - Philippe MANGIN - Pierre MATHIEU - Michel MERLE - Denise MONERET-
VAUTRIN - Pierre MONIN - Pierre NABET - Jean-Pierre NICOLAS - Pierre PAYSANT - Francis PENIN - Gilbert
PERCEBOIS - Claude PERRIN - Luc PICARD - François PLENAT - Jean-Marie POLU - Jacques POUREL - Jean PREVOT
- Francis RAPHAEL - Antoine RASPILLER - Denis REGENT - Michel RENARD - Jacques ROLAND - René-Jean ROYER
- Daniel SCHMITT - Michel SCHMITT - Michel SCHWEITZER - Daniel SIBERTIN-BLANC - Claude SIMON - Danièle
SOMMELET - Jean-François STOLTZ - Michel STRICKER - Gilbert THIBAUT - Gérard VAILLANT - Paul VERT - Hervé
VESPIGNANIColette VIDAILHET - Michel VIDAILHET - Jean-Pierre VILLEMOT - Michel WAYOFF - Michel WEBER

PROFESSEURS ÉMÉRITES

Professeur Gérard BARROCHE - Professeur Pierre BEY - Professeur Marc-André BIGARD - Professeur Jean-Pierre CRANCE - Professeure Michèle KESSLER

Professeur Jacques LECLÈRE - Professeur Alain LE FAOU - Professeur Jean-Marie GILGENKRANTZ

Professeure Simone GILGENKRANTZ – Professeur Gilles GROSDIDIER - Professeur Philippe HARTEMANN

Professeure Denise MONERET-VAUTRIN - Professeur Pierre MONIN - Professeur Jean-Pierre NICOLAS

Professeur Luc PICARD - Professeur François PLENAT - Professeur Jacques POUREL - Professeur Daniel SIBERTIN-BLANC - Professeur Paul VERT - Professeur Michel VIDAILHET

=====

PROFESSEURS DES UNIVERSITÉS - PRATICIENS HOSPITALIERS

(Disciplines du Conseil National des Universités)

42^{ème} Section : MORPHOLOGIE ET MORPHOGENÈSE

1^{ère} sous-section : (Anatomie)

Professeur Marc BRAUN

2^{ème} sous-section : (Histologie, embryologie et cytogénétique)

Professeur Christo CHRISTOV – Professeur Bernard FOLIGUET

3^{ème} sous-section : (Anatomie et cytologie pathologiques)

Professeur Jean-Michel VIGNAUD

43^{ème} Section : BIOPHYSIQUE ET IMAGERIE MÉDICALE

1^{ère} sous-section : (Biophysique et médecine nucléaire)

Professeur Gilles KARCHER – Professeur Pierre-Yves MARIE – Professeur Pierre OLIVIER

2^{ème} sous-section : (Radiologie et imagerie médicale)

Professeur René ANXIONNAT - Professeur Alain BLUM - Professeur Serge BRACARD - Professeur Michel CLAUDON

Professeure Valérie CROISÉ-LAURENT - Professeur Jacques FELBLINGER

44^{ème} Section : BIOCHIMIE, BIOLOGIE CELLULAIRE ET MOLÉCULAIRE, PHYSIOLOGIE ET NUTRITION

1^{ère} sous-section : (Biochimie et biologie moléculaire)

Professeur Jean-Louis GUÉANT - Professeur Bernard NAMOUR - Professeur Jean-Luc OLIVIER

2^{ème} sous-section : (Physiologie)

Professeur Christian BEYAERT - Professeur Bruno CHENUÉL - Professeur François MARCHAL

4^{ème} sous-section : (Nutrition)

Professeur Didier QUILLIOT - Professeure Rosa-Maria RODRIGUEZ-GUEANT - Professeur Olivier ZIEGLER

45^{ème} Section : MICROBIOLOGIE, MALADIES TRANSMISSIBLES ET HYGIÈNE

1^{ère} sous-section : (Bactériologie – virologie ; hygiène hospitalière)

Professeur Alain LOZNIEWSKI – Professeure Evelyne SCHVOERER

2^{ème} sous-section : (Parasitologie et Mycologie)

Professeure Marie MACHOUART

3^{ème} sous-section : (Maladies infectieuses ; maladies tropicales)

Professeur Thierry MAY - Professeure Céline PULCINI - Professeur Christian RABAUD

46^{ème} Section : SANTÉ PUBLIQUE, ENVIRONNEMENT ET SOCIÉTÉ

1^{ère} sous-section : (Épidémiologie, économie de la santé et prévention)

Professeur François ALLA - Professeur Serge BRIANÇON - Professeur Francis GUILLEMIN

Professeur Denis ZMIROU-NAVIER

2^{ème} sous-section : (Médecine et santé au travail)

Professeur Christophe PARIS

3^{ème} sous-section : (Médecine légale et droit de la santé)

Professeur Henry COUDANE

4^{ème} sous-section : (Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication)

Professeure Eliane ALBUISSON - Professeur Nicolas JAY

47^{ème} Section : CANCÉROLOGIE, GÉNÉTIQUE, HÉMATOLOGIE, IMMUNOLOGIE

1^{ère} sous-section : (Hématologie ; transfusion)

Professeur Pierre FEUGIER

2^{ème} sous-section : (Cancérologie ; radiothérapie)

Professeur Thierry CONROY - Professeur François GUILLEMIN - Professeur Didier PEIFFERT - Professeur Frédéric MARCHAL

3^{ème} sous-section : (Immunologie)

Professeur Marcelo DE CARVALHO-BITTENCOURT - Professeur Gilbert FAURE

4^{ème} sous-section : (Génétique)

Professeur Philippe JONVEAUX - Professeur Bruno LEHEUP

**48^{ème} Section : ANESTHÉSIOLOGIE, RÉANIMATION, MÉDECINE D'URGENCE,
PHARMACOLOGIE ET THÉRAPEUTIQUE**

1^{ère} sous-section : (Anesthésiologie-réanimation ; médecine d'urgence)

Professeur Gérard AUDIBERT - Professeur Hervé BOUAZIZ - Professeur Thomas FUCHS-BUDER

Professeure Marie-Reine LOSSER - Professeur Claude MEISTELMAN

2^{ème} sous-section : (Réanimation ; médecine d'urgence)

Professeur Pierre-Édouard BOLLAERT - Professeur Sébastien GIBOT - Professeur Bruno LÉVY

3^{ème} sous-section : (Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie)

Professeur Pierre GILLET - Professeur Jean-Yves JOUZEAU - Professeur Patrick NETTER

4^{ème} sous-section : (Thérapeutique ; médecine d'urgence ; addictologie)

Professeur François PAILLE - Professeur Patrick ROSSIGNOL - Professeur Faiez ZANNAD

**49^{ème} Section : PATHOLOGIE NERVEUSE ET MUSCULAIRE, PATHOLOGIE MENTALE,
HANDICAP ET RÉÉDUCATION**

1^{ère} sous-section : (Neurologie)

Professeur Marc DEBOUVERIE - Professeur Louis MAILLARD - Professeur Luc TAILLANDIER - Professeure Louise TYVAERT

2^{ème} sous-section : (Neurochirurgie)

Professeur Jean AUQUE - Professeur Thierry CIVIT - Professeure Sophie COLNAT-COULBOIS - Professeur Olivier KLEIN - Professeur Jean-Claude MARCHAL

3^{ème} sous-section : (Psychiatrie d'adultes ; addictologie)

Professeur Jean-Pierre KAHN - Professeur Raymund SCHWAN

4^{ème} sous-section : (Pédopsychiatrie ; addictologie)

Professeur Bernard KABUTH

5^{ème} sous-section : (Médecine physique et de réadaptation)

Professeur Jean PAYSANT

**50^{ème} Section : PATHOLOGIE OSTÉO-ARTICULAIRE, DERMATOLOGIE ET CHIRURGIE
PLASTIQUE**

1^{ère} sous-section : (Rhumatologie)

Professeure Isabelle CHARY-VALCKENAERE - Professeur Damien LOEUILLE

2^{ème} sous-section : (Chirurgie orthopédique et traumatologique)

Professeur Laurent GALOIS - Professeur Didier MAINARD - Professeur Daniel MOLE - Professeur François SIRVEAUX

3^{ème} sous-section : (Dermato-vénérologie)

Professeure Annick BARBAUD - Professeur Jean-Luc SCHMUTZ

4^{ème} sous-section : (Chirurgie plastique, reconstructrice et esthétique ; brûlologie)

Professeur François DAP - Professeur Gilles DAUTEL - Professeur Etienne SIMON

51^{ème} Section : PATHOLOGIE CARDIO-RESPIRATOIRE ET VASCULAIRE

1^{ère} sous-section : (Pneumologie ; addictologie)

Professeur Jean-François CHABOT - Professeur Ari CHAOUAT - Professeur Yves MARTINET

2^{ème} sous-section : (Cardiologie)

Professeur Etienne ALIOT - Professeur Edoardo CAMENZIND - Professeur Christian de CHILLOU DE CHURET

Professeur Yves JUILLIERE - Professeur Nicolas SADOUL

3^{ème} sous-section : (Chirurgie thoracique et cardiovasculaire)

Professeur Thierry FOLLIGUET - Professeur Juan-Pablo MAUREIRA

4^{ème} sous-section : (Chirurgie vasculaire ; médecine vasculaire)

Professeur Sergueï MALIKOV - Professeur Denis WAHL

52^{ème} Section : MALADIES DES APPAREILS DIGESTIF ET URINAIRE

1^{ère} sous-section : (Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie)

Professeur Jean-Pierre BRONOWICKI - Professeur Laurent PEYRIN-BIROULET

3^{ème} sous-section : (Néphrologie)

Professeur Luc FRIMAT - Professeure Dominique HESTIN

4^{ème} sous-section : (Urologie)

Professeur Pascal ESCHWEGE - Professeur Jacques HUBERT

53^{ème} Section : MÉDECINE INTERNE, GÉRIATRIE, CHIRURGIE GÉNÉRALE ET MÉDECINE GÉNÉRALE

1^{ère} sous-section : (Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement ; addictologie)

Professeur Athanase BENETOS - Professeur Jean-Dominique DE KORWIN - Professeure Gisèle KANNY
Professeure Christine PERRET-GUILLAUME

2^{ème} sous-section : (Chirurgie générale)

Professeur Ahmet AYAV - Professeur Laurent BRESLER - Professeur Laurent BRUNAUD

3^{ème} sous-section : (Médecine générale)

Professeur Jean-Marc BOIVIN

54^{ème} Section : DÉVELOPPEMENT ET PATHOLOGIE DE L'ENFANT, GYNÉCOLOGIE-OBSTÉTRIQUE, ENDOCRINOLOGIE ET REPRODUCTION

1^{ère} sous-section : (Pédiatrie)

Professeur Pascal CHASTAGNER - Professeur François FEILLET - Professeur Jean-Michel HASCOET
Professeur Emmanuel RAFFO - Professeur Cyril SCHWEITZER

2^{ème} sous-section : (Chirurgie infantile)

Professeur Pierre JOURNEAU - Professeur Jean-Louis LEMELLE

3^{ème} sous-section : (Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale)

Professeur Philippe JUDLIN - Professeur Olivier MOREL

4^{ème} sous-section : (Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques ; gynécologie médicale)

Professeur Bruno GUERCI - Professeur Marc KLEIN - Professeur Georges WERYHA

55^{ème} Section : PATHOLOGIE DE LA TÊTE ET DU COU

1^{ère} sous-section : (Oto-rhino-laryngologie)

Professeur Roger JANKOWSKI - Professeure Cécile PARIETTI-WINKLER

2^{ème} sous-section : (Ophtalmologie)

Professeure Karine ANGIOI - Professeur Jean-Paul BERROD - Professeur Jean-Luc GEORGE

3^{ème} sous-section : (Chirurgie maxillo-faciale et stomatologie)

Professeure Muriel BRIX

PROFESSEURS DES UNIVERSITÉS

61^{ème} Section : GÉNIE INFORMATIQUE, AUTOMATIQUE ET TRAITEMENT DU SIGNAL

Professeur Walter BLONDEL

64^{ème} Section : BIOCHIMIE ET BIOLOGIE MOLÉCULAIRE

Professeure Sandrine BOSCHI-MULLER

PROFESSEUR ASSOCIÉ DE MÉDECINE GÉNÉRALE

Professeur associé Paolo DI PATRIZIO

MAÎTRES DE CONFÉRENCES DES UNIVERSITÉS - PRATICIENS HOSPITALIERS

42^{ème} Section : MORPHOLOGIE ET MORPHOGENÈSE

1^{ère} sous-section : (Anatomie)

Docteur Bruno GRIGNON - Docteure Manuela PEREZ

2^{ème} sous-section : (Histologie, embryologie et cytogénétique)

Docteure Chantal KOHLER - Docteure Françoise TOUATI

3^{ème} sous-section : (Anatomie et cytologie pathologiques)

Docteur Guillaume GAUCHOTTE

43^{ème} Section : BIOPHYSIQUE ET IMAGERIE MÉDICALE

1^{ère} sous-section : (Biophysique et médecine nucléaire)

Docteur Jean-Marie ESCANYE

2^{ème} sous-section : (Radiologie et imagerie médicale)

Docteur Damien MANDRY - Docteur Pedro TEIXEIRA

44^{ème} Section : BIOCHIMIE, BIOLOGIE CELLULAIRE ET MOLÉCULAIRE, PHYSIOLOGIE ET NUTRITION

1^{ère} sous-section : (Biochimie et biologie moléculaire)

Docteure Shyue-Fang BATTAGLIA - Docteure Sophie FREMONT - Docteure Isabelle GASTIN

Docteure Catherine MALAPLATE-ARMAND - Docteur Marc MERTEN - Docteur Abderrahim OUSSALAH

2^{ème} sous-section : (Physiologie)

Docteure Silvia DEMOULIN-ALEXIKOVA - Docteur Mathias POUSSEL

3^{ème} sous-section : (Biologie Cellulaire)

Docteure Véronique DECOT-MAILLERET

45^{ème} Section : MICROBIOLOGIE, MALADIES TRANSMISSIBLES ET HYGIÈNE

1^{ère} sous-section : (Bactériologie – Virologie ; hygiène hospitalière)

Docteure Corentine ALAUZET - Docteure Hélène JEULIN - Docteure Véronique VENARD

2^{ème} sous-section : (Parasitologie et mycologie)

Docteure Anne DEBOURGOGNE

46^{ème} Section : SANTÉ PUBLIQUE, ENVIRONNEMENT ET SOCIÉTÉ

1^{ère} sous-section : (Epidémiologie, économie de la santé et prévention)

Docteure Nelly AGRINIER - Docteur Cédric BAUMANN - Docteure Frédérique CLAUDOT - Docteur Alexis HAUTEMANIÈRE

2^{ème} sous-section (Médecine et Santé au Travail)

Docteure Isabelle THAON

3^{ème} sous-section (Médecine légale et droit de la santé)

Docteur Laurent MARTRILLE

47^{ème} Section : CANCÉROLOGIE, GÉNÉTIQUE, HÉMATOLOGIE, IMMUNOLOGIE

1^{ère} sous-section : (Hématologie ; transfusion)

Docteure Aurore PERROT

2^{ème} sous-section : (Cancérologie ; radiothérapie)

Docteure Lina BOLOTINE

4^{ème} sous-section : (Génétique)

Docteure Céline BONNET - Docteur Christophe PHILIPPE

48^{ème} Section : ANESTHÉSIOLOGIE, RÉANIMATION, MÉDECINE D'URGENCE, PHARMACOLOGIE ET THÉRAPEUTIQUE

2^{ème} sous-section : (Réanimation ; Médecine d'urgence)

Docteur Antoine KIMMOUN (*stagiaire*)

3^{ème} sous-section : (Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie)

Docteur Nicolas GAMBIER - Docteure Françoise LAPICQUE - Docteur Julien SCALA-BERTOLA

4^{ème} sous-section : (Thérapeutique ; Médecine d'urgence ; addictologie)

Docteur Nicolas GIRERD (*stagiaire*)

50^{ème} Section : PATHOLOGIE OSTÉO-ARTICULAIRE, DERMATOLOGIE ET CHIRURGIE PLASTIQUE

1^{ère} sous-section : (Rhumatologie)

Docteure Anne-Christine RAT

3^{ème} sous-section : (Dermato-vénéréologie)

Docteure Anne-Claire BURSZTEJN

4^{ème} sous-section : (Chirurgie plastique, reconstructrice et esthétique ; brûlologie)

Docteure Laetitia GOFFINET-PLEUTRET

51^{ème} Section : PATHOLOGIE CARDIO-RESPIRATOIRE ET VASCULAIRE

3^{ème} sous-section : (Chirurgie thoracique et cardio-vasculaire)

Docteur Fabrice VANHUYSE

4^{ème} sous-section : (Chirurgie vasculaire ; médecine vasculaire)

Docteur Stéphane ZUILY

52^{ème} Section : MALADIES DES APPAREILS DIGESTIF ET URINAIRE

1^{ère} sous-section : (Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie)

Docteur Jean-Baptiste CHEVAUX

53^{ème} Section : MÉDECINE INTERNE, GÉRIATRIE, CHIRURGIE GÉNÉRALE ET MÉDECINE GÉNÉRALE

1^{ère} sous-section : (Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement ; addictologie)

Docteure Laure JOLY

3^{ème} sous-section : (Médecine générale)

Docteure Elisabeth STEYER

55^{ème} Section : PATHOLOGIE DE LA TÊTE ET DU COU

1^{ère} sous-section : (Oto-Rhino-Laryngologie)

Docteur Patrice GALLET (*stagiaire*)

MAÎTRES DE CONFÉRENCES

5^{ème} Section : SCIENCES ÉCONOMIQUES

Monsieur Vincent LHUILLIER

7^{ème} Section : SCIENCES DU LANGAGE : LINGUISTIQUE ET PHONETIQUE GENERALES

Madame Christine DA SILVA-GENEST

19^{ème} Section : SOCIOLOGIE, DÉMOGRAPHIE

Madame Joëlle KIVITS

60^{ème} Section : MÉCANIQUE, GÉNIE MÉCANIQUE, GÉNIE CIVIL

Monsieur Alain DURAND

61^{ème} Section : GÉNIE INFORMATIQUE, AUTOMATIQUE ET TRAITEMENT DU SIGNAL

Monsieur Jean REBSTOCK

64^{ème} Section : BIOCHIMIE ET BIOLOGIE MOLÉCULAIRE

Madame Marie-Claire LANHERS - Monsieur Nick RAMALANJAONA - Monsieur Pascal REBOUL

65^{ème} Section : BIOLOGIE CELLULAIRE

Madame Nathalie AUCHET - Madame Natalia DE ISLA-MARTINEZ - Monsieur Jean-Louis GELLY

Madame Céline HUSELSTEIN - Madame Ketsia HESS – Monsieur Hervé MEMBRE - Monsieur Christophe NEMOS

66^{ème} Section : PHYSIOLOGIE

Monsieur Nguyen TRAN

MAÎTRES DE CONFÉRENCES ASSOCIÉS DE MÉDECINE GÉNÉRALE

Docteur Pascal BOUCHE – Docteur Olivier BOUCHY - Docteur Arnaud MASSON - Docteure Sophie SIEGRIST

DOCTEURS HONORIS CAUSA

Professeur Charles A. BERRY (1982)

Centre de Médecine Préventive, Houston (U.S.A)

Professeur Pierre-Marie GALETTI (1982)

Brown University, Providence (U.S.A)

Professeure Mildred T. STAHLMAN (1982)

Vanderbilt University, Nashville (U.S.A)

Professeur Théodore H. SCHIEBLER (1989)

Institut d'Anatomie de Würzburg (R.F.A)

Université de Pennsylvanie (U.S.A)

Professeur Mashaki KASHIWARA (1996)

*Research Institute for Mathematical Sciences de Kyoto
(JAPON)*

Professeure Maria DELIVORIA-

PAPADOPOULOS (1996)

Professeur Ralph GRÄSBECK (1996)

Université d'Helsinki (FINLANDE)

Professeur Duong Quang TRUNG (1997)

Université d'Hô Chi Minh-Ville (VIÊTNAM)

Professeur Daniel G. BICHET (2001)

Université de Montréal (Canada)

Professeur Marc LEVENSTON (2005)

Institute of Technology, Atlanta (USA)

Professeur Brian BURCHELL (2007)

Université de Dundee (Royaume-Uni)

Professeur Yunfeng ZHOU (2009)

Université de Wuhan (CHINE)

Professeur David ALPERS (2011)

Université de Washington (U.S.A)

Professeur Martin EXNER (2012)

Université de Bonn (ALLEMAGNE)

REMERCIEMENTS

A Notre maître et présidente du jury

Madame le Professeur Cécile PARIETTI-WINKLER

Professeur d'Oto-Rhino-Laryngologie

Vous m'avez témoigné votre confiance en me proposant ce travail. Merci de m'avoir guidé lors de sa réalisation. Vous m'avez appris la rigueur du raisonnement dans le vaste domaine de l'otologie. « A fond sur la Pédale », et « le cri de la dure mère », sont des phrases que j'aurai toujours à l'esprit, tout comme la position de la métacarpo-phalangienne du pouce. Recevez ici toute ma reconnaissance et l'expression de mon plus profond respect.

A Notre Maître et Juge

Monsieur le Professeur Laurent BRESLER

Professeur de Chirurgie Générale

Vous nous faites l'honneur de juger ce travail, veuillez trouver ici, l'expression de mes sincères remerciements et de mon profond respect.

A Notre Maître et Juge

Monsieur le Professeur Marc BRAUN

Professeur d'Anatomie

Vous nous faites l'honneur de juger ce travail, veuillez trouver ici, l'expression de mes sincères remerciements et de mon profond respect.

A Notre Juge

Monsieur le Docteur Cyril PERRENOT

Merci Cyril d'avoir accepté de faire Partie de mon jury. Tu m'as été d'un grand soutien et d'une grande aide durant ce travail. Reçois l'expression de ma reconnaissance et de mon profond respect.

À Mr le Professeur Roger JANKOWSKI

Merci de m'avoir accueillie dans votre service. Merci pour tout le savoir que vous nous transmettez dans le domaine de la rhinologie et de l'ORL en général. Votre rigueur, votre détermination et votre investissement sans faille tant auprès des patients que dans le domaine de la recherche sont un exemple à suivre. Vous avez su faire preuve d'écoute, de compréhension et de bienveillance quant à mes projets professionnels et je vous en remercie.

Recevez ici toute ma reconnaissance et l'expression de mon plus profond respect.

À ceux qui ont permis la réalisation de ce travail

Au Dr Nguyen TRAN qui m'a gentiment ouvert les portes de sa belle école.

À tous les internes et Chirurghiens qui ont participé à l'étude et qui se sont prêtés au jeu du simulateur.

Au Dr Charles HOFFMAN sans qui ce manuscrit ne serait pas encore écrit. Un immense merci pour ton aide.

À tous les Professeurs et Maîtres d'internat qui m'ont reçu et me recevront dans leur service

Au Docteur Bruno TOUSSAINT : Le Papa du service d'ORL, (tout le monde se tourne vers « papa-Bruno » quand il a besoin d'un conseil) Vous avez un grand sens de la pédagogie et savez être à l'écoute et juste, avec vos patients, vos internes, et l'ensemble du personnel. Votre rigueur et votre patience sont exemplaires. Et preuve que la patience paye toujours, l'ASNL monte en ligue 1, et ça c'est énorme comme dirait la jeune mariée que je suis. Merci pour tout.

Au Docteur Laurent COFFINET : Vous m'avez transmis votre passion et un tout petit bout de votre immense savoir. (otite séreuse + dysmorphie = arbre généalogique) Votre investissement et votre disponibilité dans le service à l'hôpital d'enfant est admirable. Merci pour ces 6 mois passés à vos côtés ponctués de mille et unes anecdotes croustillantes.

Au Docteur Bettina MONTAUT-VERIENT : Après mon passage chez Laurent, vous avez renforcé mon goût pour l'ORL pédiatrique, merci pour votre disponibilité, votre écoute et tout ce savoir transmis. Et vive popsicube !

Au Docteur Patrice GALLET : Le premier contact le plus surprenant de mon internat (coupe de cheveux au bloc). Merci pour ton investissement dans la formation des internes. Merci pour ton apprentissage (parfois douloureux) et pour ton écoute. Les « post-staff » dans ton bureau nous manquent.

Au Docteur Cécile RUMEAU : la chef à 1000 bras. Merci pour ta patience et ton sens de la pédagogie et ta disponibilité. Tu es un modèle de détermination.

Au Docteur Trung NGUYEN : Tu possèdes un immense savoir et une grande curiosité que tu cherches toujours à nous transmettre. Merci pour ta disponibilité et ta générosité. Tu fais parti de la plupart de mes « premières » en chirurgie alors Champââagne !

Aux professeurs Jean AUQUE, Jean-Claude MARCHAL, Thierry CIVIT, Olivier KLEIN, et Sophie COLNAT, ainsi qu'aux Docteurs Isabelle MERLOT, Anthony JOUD, Catherine PINELLI, Thomas JULLIEN, et Fabien RECH du Service de Neurochirurgie où j'ai passé un semestre intense et riche en souvenirs.

Au Professeur Philippe SOCKEEL, ainsi qu'aux docteurs Eric CHATELAIN, Charlotte DE SAINT ROMAN, et Kevin FIXOT du service de Chirurgie viscérale de l'Hôpital Legouest. Ce fut un réel plaisir de travailler avec vous, merci de m'avoir fait découvrir cette spécialité assez riche sur le plan olfactif.

Au docteur Marouane TALBI, modèle de patience et de précision dans le domaine de la chirurgie maxillo-faciale, ainsi qu'au reste de son équipe : Les Docteurs Grégoire KAIHRALLAH, Firas ZREIQY, Et Thomas BRENGARD. Merci pour ce que vous m'avez appris durant ces 6 mois.

Aux Docteurs Joëlle GIROT, Armelle BRETON et Alice MARTELLOTO : Merci pour votre patience, vos conseils et pour toutes ces gardes où je vous ai harcelées au téléphone.

À Mr le professeur Jean Michel TRIGLIA, du service d'ORL Pédiatrique ainsi qu'à son équipe. Vous me faites l'honneur de m'accueillir 6 mois durant dans votre service bientôt et j'espère être à la hauteur.

Aux autres médecins croisés durant ce début de parcours, notamment les Dr Frédérique TARON, Dr Nelly MARCHAND, stars de l'anesthésie en ORL.

Aux Internes avec qui j'ai fait et ferai encore un bout de chemin... Par ordre d'apparition

- Sophie qui m'avait dépeint un drôle de tableau de Lorraine, mais qui semble s'y être bien accommodé depuis ;)
- Rémi qui a failli me faire regretter mon choix avant même d'avoir commencé.
- Hélène et Adrien : qui m'ont pris sous leur aile et qui sont devenus des amis. Aux astreintes, aux soirées traquenards, aux week ends bourguignons, aux lavabos, aux reprises d'amygdales et au reste à venir.
- Claire : mon ptit bouchon lyonnais, qui nous manque. Je n'ai encore pas compris comment on pouvait concentrer autant de force dans une si petite taille.
- Marylisa : la moutarde malgache, un feel good movie a elle toute seule. Toi aussi tu nous manques. « ipso facto... ? »
- Anne Laure : mon ophtalmo préférée, je sais bien qu'au fond de toi, tu regrettes un peu ces astreintes en ORL.
- Théo : « le comploteur », le mec à l'humeur la plus constante de l'univers.
- Médarine : Carpe diem est la devise qui je pense te convient le mieux. Avec toi il est impossible de s'ennuyer. Longue vie à nos « gemini », « carroussel » et « butterfly » Ne change pas, garde cette spontanéité et ce joli sourire tout le temps.
- Ayoub la tchatte, l'homme imprévisible. J'ai pas encore complètement réussi à te cerner (je ne perds pas espoir...) mais j'ai compris une chose : ton dévouement est inversement proportionnels à ton sens de l'organisation.
- MHS : Ma partenaire écolo-psychorigide (je me sens tellement moins seule), La nana qui garde toujours son sourire bright, même dans ses pires moments d'astreinte. Respect
- Gratien : le mec qui gagne à être connu, qui dissèque des rocher comme dans les livres d'anat'.
- Les trois drôles de dames : Ratthi, Julie et Sarah, que je connais encore peu mais avec qui on va passer un bon semestre je crois.
- Aux autres ORL avec qui je n'ai malheureusement pas encore eu l'occasion de bosser : Jordan (footix), Yazan (fournisseur officiel de TIAC), Yoel, Maxime, Patrick.
- Aux Internes d'autres spés avec qui on a passé de supers moments à l'hôpital : Floriane (Et son sourire à toute épreuve) Fayçal (qui serait capable de trouver un labo pour sponsoriser son permis de conduire) Myriam (pendue a son téléphone mais jamais joignable) François (la caution « anar » chez les militaires) Camille (« tu m'emmerdes avec ton thé !!!! » <3) Kunga (« ca va ? », « tu fais quoi ? »).

Aux autres lorrains que j'ai pu croiser (hors-boulot) pour passer de bons moments depuis mon exil par ici

- Les Gastros : Chloé, Mathilde, Camille, Jean, JB, Guillaume, Oliviane, Arthur et les autres.... Et leurs moitiés. Votre spé ne sent pas bon mais vos soirées sont sympas
- A Charlotte, qui va se vexer si elle n'a pas une ligne rien que pour elle. On va te faire kiffer Marseille meuf ! et ton Marnai nous rejoindra !
- Manu, Antho, Le prez', le mec fun, oui oui tout ça est une même personne, et en plus il est chirurgien. C'est quand même cool qu'on ait traversé la France ensemble.
- Guigui : malgré toutes ces années, tu arriveras toujours à me surprendre. Si tu pouvais me donner un peu de ton énergie pour les astreintes difficiles ça m'arrangerait. Merci.

Aux équipes paramédicales qui assurent un max et qui me font encore plus aimer ce métier

- Toutes les infirmières et AS du service d'ORL, vous faites une belle équipe soudée. c'est précieux ! ne changez pas ! surtout celles « d'inter »...
- Les IBODE du bloc d'ORL : elles adorent entendre ma douce voix en pleine nuit qui les réveille pour un bloc en urgence.
- Les Infirmières de consultation : Rachel, Aicha et Corrine... Un jour j'arriverai peut être à comprendre la logique de rangement des box de consultation. En attendant merci pour votre patience, et votre sourire à toute épreuve.
- Les filles « d'en bas » : Laurence, Marie, les audiométristes, Catherine, Marie-Madeleine...hâte de vous voir regagner les plaines de la terre du milieu.
- Les secrétaires d'ORL, Yvette Olivia et Elodie, Ludivine toujours souriantes et agréables. Tapant les courriers plus vite que leur ombre.
- Les Infirmières de Neurochir : Mention spéciale au 5b, Mylène, Emy, Cécé, Amélie Marina. Et à la Djul !
- Pascale : l'assistance joviale de mon cœur.

Aux Amis du sud

- Cécile : mon petit électron libre. Un jour, on sera grand dictateurs de la république. Wake me up sera l'hymne national, On interdira le comic sans MS, on mettra en prison tous les méchants, on fera tu tirage au sort, tout le monde sera gentil et heureux, et on dira « vous voyez qu'on avait raison !! » et accessoirement on soignera des gens... Tu me manques.
- Les copains de l'Underglue : Marc l'adolescent, cindjy la tempête, et benj (mal de pot')... vous avez rendu cette année de D4 tellement moins dure, vive les bouffes post sous colles.
- Carole : Puits de connaissance mais qui sait être tellement blonde parfois ! c'est ça qui est bon !
- Benoit : Grand maître Chanamou, qui n'a peur de rien, qui tire toujours le meilleur de chaque situation
- Juju : Nancy c'est trop loin, 5 ans c'est trop long... trop loin et trop long pour quelqu'un d'aussi précieux à mes yeux. J'ai hâte de rencontrer belle petite famille nouvellement agrandie.
- L'Asso AEM2 2008 2009... Pas crédible mais presque. Mention spéciale à Doudou
- Jojo, Julie, Mesca...les baroudeuses de l'extrême. J'espère que dans un futur proche on se verra plus souvent.
- A Claudine et Marion, mes deux petites amulettes : j'aimerais vous avoir près de moi tout le temps, juste pour ce plaisir de papoter 5 minutes et rigoler un coup, comme ça.... 20 ans d'amitié... et encore plein de belles années à vivre. Je vous aime !
- Aux Zigues : Julie, Julien, Aline... Merci pour cette aventure que j'ai quitté a regret : les répét's, les délires, les fou rires, les galères, « l'échec total »...que de bons souvenirs. Longue vie a cette jolie compagnie !
- A « Cap corse » : Mag et son bronzage, Jeff et son otite, Justine et son Jeff, Thomas et sa courbe de poid, moog et ses chats, cocow et ses petits plats, Flo et ses « attrapes Florent », Sami et sa trompette, léa et ses voisins, Pouetty et son milka, Quarti et sa machine à coudre, Erwann et ses protons, Nini et sa folie douce, lolo et ses poils, Manue et sa bienveillance, Quentin et son sommeil, JC et son égo, Boust et ses imprévisions, moumou et ses montagnes Ben et nos aubergines et Sophie et son sens de l'organisation,... aux barbeucs, aux soirées, aux vacances, aux copains, à la France et à la Chine...

À Ma Famille

- A mes Parents. Merci pour tout. J'ai beau être idéaliste, je sais (surtout depuis que j'apprends ce métier) qu'on ne naît pas tous égaux, moi j'ai tiré un sacré bon numéro coté parents. Merci pour ces valeurs transmises, pour votre soutien sans faille, pour votre écoute bienveillante dans mes moments de détresse, pour vos petits soins si précieux pendant mes week-ends de révisions à la maison...vous avez passé tant d'années à prendre soin de nous. Prenez soin de vous maintenant, je vous aime infiniment.
- À mes deux sœurs, Gaëlle et Delphine, La prunelle de mes deux yeux, Qui m'ont vu grandir et qui m'ont aidé à me construire. Mes modèles, mes confidentes, mes réconforts, qui font partie de moi Merci d'être toujours là, j'aimerais vous rendre tout ce que vous m'apportez au centuple ! Longue vie à notre complicité et à ce lien qui nous unit toutes les trois. Je vous aime mes grandes sœurs.
- Aux beaux : Mat' et pilou, les premières thèses auxquelles j'ai assisté. La boucle est bouclée !! je vous embrasse.
- À Baptiste, Lucie et Arthur... la nouvelle génération de la famille, avec son lot de bonheur de rires et de surprises. Alibis parfaits pour regarder les derniers Disney, courir les parcs d'attraction, et manger des bonbons ! je vous embrasse mes loulous adorés.
- À Alex, mon grand frère Québécois...Qui peut être un jour traversera l'atlantique dans l'autre sens pour poser ses valises et sa blonde (l'espoir fait vivre). Miss you !
- À mamie. ton corps et dans le présent mais ton esprit est resté dans le passé, alors tu as du mal à t'y retrouver. Mes pensées vont vers toi en ce jour particulier, j'espère que tu les recevras un peu. Je t'embrasse fort
- À Mes oncles et tantes, a mes cousins
- À ceux qui sont déjà partis, Mita, Papy Titi et Arsène.
- À ma Belle famille : Eliane, Yves, Vincent, Bonne Maman et Kuta. Il y a belle, il y a famille... deux termes qui vous vont comme un gant. Merci de m'avoir si bien accueillie. Je vous embrasse.

À Emmanuel (étrange d'écrire ton nom en toutes lettres)

Merci au concours de circonstances qui a conduit à notre rencontre. Encore une fois, une chance folle

Merci d'avoir mis ta main dans la mienne il y a 9 ans, et de me rendre heureuse chaque jour depuis.

Tant que nous avancerons côte à côte dans la même direction, tant que je pourrai me réveiller le matin à tes côtés, alors peu importe de quoi demain sera fait... même pas peur c'est nous les meilleurs.

Je t'aime.

SERMENT

« **A**u moment d'être admise à exercer la médecine, je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité. Mon premier souci sera de rétablir, de préserver ou de promouvoir la santé dans tous ses éléments, physiques et mentaux, individuels et sociaux. Je respecterai toutes les personnes, leur autonomie et leur volonté, sans aucune discrimination selon leur état ou leurs convictions. J'interviendrai pour les protéger si elles sont affaiblies, vulnérables ou menacées dans leur intégrité ou leur dignité. Même sous la contrainte, je ne ferai pas usage de mes connaissances contre les lois de l'humanité. J'informerai les patients des décisions envisagées, de leurs raisons et de leurs conséquences. Je ne tromperai jamais leur confiance et n'exploiterai pas le pouvoir hérité des circonstances pour forcer les consciences. Je donnerai mes soins à l'indigent et à quiconque me les demandera. Je ne me laisserai pas influencer par la soif du gain ou la recherche de la gloire.

Admise dans l'intimité des personnes, je tairai les secrets qui me sont confiés. Reçue à l'intérieur des maisons, je respecterai les secrets des foyers et ma conduite ne servira pas à corrompre les mœurs. Je ferai tout pour soulager les souffrances. Je ne prolongerai pas abusivement les agonies. Je ne provoquerai jamais la mort délibérément.

Je préserverai l'indépendance nécessaire à l'accomplissement de ma mission. Je n'entreprendrai rien qui dépasse mes compétences. Je les entretiendrai et les perfectionnerai pour assurer au mieux les services qui me seront demandés.

J'apporterai mon aide à mes confrères ainsi qu'à leurs familles dans l'adversité.

Que les hommes et mes confrères m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses ; que je sois déshonorée et méprisée si j'y manque ».

TABLE DES MATIERES

RESUME	Page 25
INTRODUCTION	Page 26
MATERIEL ET METHODES	Page 29
RESULTATS	Page 32
DISCUSSION	Page 34
CONCLUSION	Page 38
BIBLIOGRAPHIE	Page 39
FIGURES	Page 41
ANNEXES	Page 48
ARTICLE EN ANGLAIS	Page 53

RESUME

Objectif : étudier la validité de construction, de surface et de contenu du simulateur Voxel Man® dans l'apprentissage de la chirurgie otologique.

Matériel et méthodes : Les participants, internes et seniors en ORL, ont été inclus de manière prospective dans l'étude et partagés en deux groupes selon leur niveau d'expérience : Novice (moins de 15 mastoïdectomies réalisées seul) et Expert (plus de 15 mastoïdectomies). Après une phase d'acclimatation, chaque participant réalisait les 4 mêmes exercices sur le simulateur dans les mêmes conditions. Les performances étaient évaluées par un score global calculé à partir du temps, du volume d'os réséqué, et des atteintes aux structures anatomiques. La comparaison des scores entre les deux groupes permettait d'évaluer la capacité du simulateur à départager un novice d'un expert (validité de construction). Puis chaque sujet remplissait un questionnaire de satisfaction concernant le réalisme du simulateur (validité de surface) et son intérêt pédagogique (validité de contenu).

Résultats : 74 participants ont été inclus dans l'étude, 58 novices et 16 experts. Les experts avaient des scores significativement supérieurs ($Z=3,04$ $p < 0,01$), et étaient plus rapides ($Z=4,46$ $p < 0,01$) par rapport aux novices. Nous n'avons pas mis en évidence de différence entre les groupes concernant le nombre d'erreurs, et le volume d'os réséqué. 93,7% des sujets experts recommanderaient l'usage du simulateur pour l'apprentissage de l'anatomie et de la technique chirurgicale. 87,5% d'entre eux considèrent que le simulateur pourrait être intégré dans un programme de formation.

Conclusion : Le simulateur de réalité virtuelle Voxel Man® constitue un outil d'apprentissage intéressant en complément des méthodes traditionnelles d'apprentissage de la chirurgie otologique. Il permet d'acquérir une bonne visualisation de l'anatomie tridimensionnelle. Par sa capacité à distinguer les novices des experts, il pourrait constituer un outil de certification avant la chirurgie en conditions réelles.

INTRODUCTION

La chirurgie des cavités postérieures de l'oreille moyenne (CPOM) s'est considérablement développée au cours de la deuxième moitié du XXe siècle en particulier grâce à l'apport des actes sous microscope permettant la mise au point de nouvelles techniques chirurgicales (ossiculoplastie, otospongiose, otoneurochirurgie) (1). La chirurgie des CPOM permet d'aborder et de traiter directement des pathologies mastoïdiennes et d'accéder à d'autres régions de l'oreille moyenne comme l'attique, la caisse du tympan et même l'oreille interne. Les indications de cette chirurgie sont représentées en grande partie par le traitement de l'otite chronique, chloestéatomateuse ou non, et ses séquelles. La chirurgie des cavités postérieures rencontre également un nouvel intérêt depuis ces vingt dernières années avec le développement des implants d'oreille moyenne et implants cochléaires.

La chirurgie des CPOM nécessite toujours, après l'abord des tissus mous, une mise à plat des cellules mastoïdiennes, plus ou moins complétée par l'ouverture de la caisse du tympan (atticotomie, tympanotomie postérieure) (2). Ces temps opératoires se réalisent par fraisage de l'os temporal, réséquant ainsi une certaine quantité de tissu osseux, et se font en grande partie sous microscope car toutes les structures sont regroupées dans un espace opératoire très restreint. Durant toutes ces étapes, l'opérateur doit donc veiller à respecter l'intégrité des structures nobles de l'os temporal : capteurs neurosensoriels situés dans l'oreille interne, nerf facial, méninge, sinus latéral. Il doit également éviter tout contact entre l'outil de fraisage et la chaîne ossiculaire qui entraînerait un traumatisme neurosensoriel labyrinthique. La maîtrise parfaite du fraisage est donc indispensable pour la réalisation d'une chirurgie des CPOM. L'apprentissage de cette chirurgie requiert donc une parfaite connaissance de l'anatomie complexe de l'oreille, et l'acquisition d'une gestuelle précise et minutieuse.

Dans l'enseignement traditionnel de l'art chirurgical, la connaissance de l'anatomie et des techniques chirurgicales s'acquièrent de façon théorique dans un premier temps, puis de façon appliquée sur pièce cadavérique ou modèle animal avant le transfert sur du vivant humain. Malgré l'essor de nouveaux outils pédagogiques innovants, les sources actuelles (livres, internet) sont encore le plus souvent en deux dimensions, rendant difficile la représentation tridimensionnelle des structures si spécifiques de l'oreille moyenne. Par ailleurs, un certain nombre de contraintes éthiques, législatives et économiques rendent l'accès aux rochers cadavériques de plus en plus difficile et coûteux pour les jeunes chirurgiens (3). Enfin, dans le cas précis de la chirurgie des CPOM, il n'existe pas de modèle animal d'apprentissage, contrairement à d'autres spécialités. Après la phase d'apprentissage théorique et d'entraînement sur cadavre, le perfectionnement des techniques chirurgicales se fait au bloc opératoire, par compagnonnage avec des médecins seniors, mais la réduction

des temps opératoires, nécessaires pour répondre à des objectifs de rentabilité de l'hôpital, se fait souvent au détriment de ce compagnonnage. De plus, ce compagnonnage augmente le risque opératoire pour le patient, surtout dans le cadre de la chirurgie des CPOM, qui se fait sous microscope, et où il est impossible pour le chirurgien senior d'interrompre un mauvais mouvement, de récupérer rapidement les instruments, ou de guider une gestuelle autrement que par le biais de consignes orales. Toutes ces contraintes engendrent une réduction du temps global d'entraînement à la chirurgie chez les jeunes chirurgiens et grèvent de façon inquiétante la qualité de la formation (4).

Pour toutes ces raisons, des techniques d'apprentissage alternatives se développent. Les récents progrès technologiques, notamment dans le domaine du numérique, ont permis le développement de l'apprentissage par simulation virtuelle, dans plusieurs domaines de la santé, notamment en chirurgie (5–7). En 2012, la Haute Autorité de Santé a émis un rapport sur la simulation en santé, dans lequel elle dresse un état des lieux sur l'utilisation de la simulation dans le domaine de la santé (8).

En Amérique du Nord (USA, Canada), la simulation est largement intégrée dans l'enseignement et utilisée de façon routinière pour la formation initiale, la formation continue, la certification. La grande majorité des établissements de formation dispose d'un programme de simulation établi par les sociétés savantes des différentes spécialités. Le financement des programmes et des centres de simulation est avant tout public.

En Europe, le développement de la simulation est plus récent et concerne surtout la formation professionnelle initiale et la formation continue. Elle se répand dans toutes les spécialités. En Angleterre, elle fait notamment l'objet d'une certification dans le domaine de l'otologie avec la mise au point d'un rocher synthétique. Peu à peu, la simulation fait l'objet d'une activité de recherche croissante.

En France, l'activité de simulation reste faible en densité. Certains Diplômes Inter Universitaires (DIU) incluent une partie de leur enseignement via la simulation. Mais elle ne fait l'objet d'aucune recommandation de bonne pratique, de méthode validée, de recherche structurée. Il existe néanmoins une exception : la simulation est un support pour la certification médicale dans le domaine de la chirurgie cardiovasculaire.

Avant d'être intégré dans un programme d'entraînement ou de formation, tout simulateur doit être validé en tant qu'outil pédagogique. La validation pédagogique d'un simulateur doit faire l'objet d'études scientifiques, répondant à une méthodologie bien précise. Elle comporte deux principaux aspects : la validité subjective et la validité objective (9).

La validité subjective comprend elle-même deux aspects : la validité de surface (face validity), qui évalue le réalisme du simulateur (anatomie, graphisme, ergonomie), et la validité de contenu (content validity), qui elle, évalue la pertinence du simulateur d'un point de vue pédagogique. Le recueil de données se fait alors au moyen de questionnaires remplis par les sujets de l'étude.

La validité objective est constituée en grande partie par la validité de construction qui évalue la capacité du simulateur à différencier les chirurgiens experts des chirurgiens débutants, en se basant sur des données chiffrées, produites par le simulateur lui-même (10). A partir de ces données, on peut également étudier les courbes d'apprentissage et la reproductibilité des résultats (reliability), qui sont d'autres aspects de la validité objective.

Le simulateur de réalité virtuelle Voxel Man® a été le premier commercialisé dans le domaine de la chirurgie otologique. Plusieurs études déjà parues dans la littérature portent sur la validation du simulateur (11–17). En 2011, Aora et al. (13) ont évalué la validité de surface et de contenu. Leur conclusion principale était que le réalisme du simulateur pouvait être amélioré. Concernant la validité de construction, Khemani et al. (15) ont montré que les données objectives produites par le simulateur permettaient de différencier plusieurs niveaux d'expertise. Ces résultats concordent avec ceux obtenus par Linke et al. (11), où les chirurgiens expérimentés étaient significativement plus performants et plus rapides que les chirurgiens novices. En revanche, seule une de ces deux études (15) a retrouvé une différence significative en terme de volume d'os réséqué, alors qu'il s'agit du paramètre essentiel utilisé par le software du simulateur pour établir le score. Par ailleurs, ces deux études portaient sur un seul exercice de fraisage. Or, toute chirurgie des CPOM se déroule en une succession d'étapes standardisées, toutes faisant l'objet d'exercices sur le simulateur. La validation pédagogique d'un tel simulateur ne peut donc être établie en ne considérant qu'un seul exercice. A l'heure actuelle, il n'est donc pas clairement établi que les données objectives produites par le simulateur permettent de différencier les chirurgiens experts des novices sur les premières étapes de la chirurgie des CPOM.

L'objectif de notre étude était d'étudier l'intérêt pédagogique du simulateur Voxel Man® dans l'apprentissage de la chirurgie otologique en évaluant la validité de construction, de surface et de contenu de ce simulateur dans le cadre d'un programme d'entraînement chirurgical.

MATERIEL ET METHODES

Il s'agit d'une étude prospective réalisée à l'Ecole de Chirurgie de la Faculté de Médecine de Nancy – Université de Lorraine.

Participants

Nous avons inclus 74 chirurgiens ORL recrutés au sein de l'inter-région Est sur la base du volontariat. Tous les sujets ont été informés des objectifs et principes de l'étude et ont donné leur consentement avant de participer à l'étude (tableau 1). Les participants étaient ensuite divisés en 2 groupes selon leur niveau d'expérience. Le groupe expert pour les sujets ayant réalisé au moins 15 mastoïdectomies seuls au bloc opératoire (n=16) et le groupe novice pour les sujets ayant réalisé moins de 15 mastoïdectomies seuls au bloc opératoire (n=58). Le choix du seuil de 15 mastoïdectomies était basé sur d'autres études publiées sur ce sujet (15).

Simulateur

Au cours de l'expérimentation sur le simulateur Voxel Man®, les sujets, munis de lunettes 3D, étaient assis face à un écran reproduisant l'environnement du champ opératoire d'une oreille droite. La représentation tridimensionnelle de l'os temporal était élaborée à partir de données scanographiques haute résolution. Les instruments (fraise, aspiration) étaient également modélisés en trois dimensions sur l'écran et étaient matérialisés par deux pièces à main reliées à des bras haptiques, contrôlées par le participant au moyen d'un retour de force. La position opératoire pouvait être modifiée à tout moment, et le site chirurgical pouvait être inspecté sous différents angles. La représentation du site opératoire sur l'écran était en permanence réévaluée et modifiée en fonction des mouvements du sujet et de la force qu'il appliquait avec les instruments (Figure 1A et 1B).

Pour chaque exercice, le software du simulateur définissait un volume optimal d'os à réséquer, obtenu à partir de la moyenne d'un panel d'expert. Il définissait également un temps optimal pour la réalisation de la tâche à partir des temps moyens d'un panel d'expert. A la fin d'un exercice, le simulateur produisait un score de performance global. La construction de ce score était basée sur le volume d'os réséqué par le participant comparé au volume optimal. Le simulateur attribuait ensuite des pénalités au candidat en fonction des structures nobles atteintes. Les pénalités étaient pondérées en fonction de la sévérité de l'erreur. Par exemple, un point était retiré en cas d'atteinte de la méninge, contre 20 points en cas d'atteinte du nerf facial. Enfin, un point de pénalité était retiré par minute supplémentaire excédant le temps limite pour la réalisation de la tâche (Figure 1C).

Déroulement de l'étude (Figure 2)

Tous les sujets inclus dans l'étude avaient moins de 2h d'expérience sur simulateur chirurgical.

Les sujets du groupe novice ont tous bénéficié d'une formation théorique préalable, conduite par le même chirurgien expérimenté, comportant des rappels d'anatomie et de technique chirurgicale. Le fonctionnement du simulateur a ensuite été expliqué aux deux groupes au moyen d'une courte présentation théorique.

Avant de commencer les exercices, tous les sujets ont bénéficié d'une phase de familiarisation avec le simulateur durant 5 minutes, où il leur était demandé d'écrire leur nom avec la fraise : exercice « drill your name ». Une fois familiarisés avec le simulateur, chaque sujet devait réaliser une seule fois une série de 4 exercices, dans les mêmes conditions, sur une oreille droite, d'anatomie normale indemne de toute pathologie. Il était demandé aux participants de réaliser chaque exercice le plus rapidement possible. Les exercices à réaliser étaient (Figure 3) :

- Ouverture de la corticale osseuse
- Squelettisation du sinus latéral
- Exposition de la courte apophyse de l'enclume
- Squelettisation du canal semi circulaire latéral

Ces quatre exercices ont été sélectionnés car ils correspondent aux quatre premières étapes de toute chirurgie des CPOM, proposés dans cet ordre par le simulateur

Une fois les exercices réalisés, il était demandé au groupe expert de compléter deux questionnaires de satisfaction concernant, respectivement, le réalisme du simulateur et son intérêt pédagogique (annexes 1 et 2). Il s'agissait de questionnaires qualitatifs avec réponses à cinq choix pour chaque question. La satisfaction pour chaque item était quantifiée grâce à une échelle de 1 à 5. Un point était attribué pour les réponses type « pas du tout réaliste/pertinent », cinq points étaient attribués pour les réponses type « très réaliste/pertinent ». Un score de trois était considéré comme neutre.

Recueil de données

Les données objectives recueillies pour chaque participant et pour chaque tâche étaient fournies par le software du simulateur : score global, volume d'os réséqué, temps et atteintes des structures nobles. A partir de ces données, nous avons calculé un troisième paramètre appelé « efficacité » qui correspondait au volume d'os réséqué par unité de temps. Les

performances des deux groupes ont été comparées pour évaluer la validité de construction. Les données des questionnaires de satisfaction ont été recueillies pour évaluer la validité de surface et de contenu.

Analyse statistique.

Le logiciel SPSS a été utilisé pour le traitement des données (Version 20.0, IBM Company, Chicago, Illinois). La distribution des données a été évaluée par le test de Shapiro Wilk. Du fait de la distribution non normale des données, nous avons utilisé le test non paramétrique de Mann-Whitney pour la comparaison globale (tous exercices confondus) des performances entre les deux groupes : score global, durée de fraisage, volume d'os réséqué, efficacité, et nombre d'erreurs. Nous avons ensuite renouvelé ces tests statistiques pour comparer les performances pour chaque exercice séparément. Le seuil de significativité a été fixé à $p < 0,05$.

RESULTATS

Validité de construction

Score de performance

Tous exercices confondus, le score moyen global obtenu par les experts était significativement supérieur à celui obtenu par les novices ($Z=3,04$; $p<0,01$; figure 4A). Les analyses détaillées par exercice retrouvaient une différence significative entre les deux groupes uniquement pour l'exercice 3 ($Z=2,39$; $p<0,05$). Concernant les exercices 1 et 2, le score moyen dans le groupe experts était supérieur à celui du groupe novices, mais la différence n'était pas significative ($p=0,07$).

Temps

Les analyses univariées, tous exercices confondus, montraient que le temps nécessaire aux experts pour réaliser les tâches était significativement plus court que chez les novices ($Z=4,47$; $p<0,01$; figure 4B). Les analyses par exercice retrouvaient une différence significative de durée entre le groupe expert et novice uniquement dans l'exercice 1 ($Z=3,60$; $p<0,001$), et l'exercice 3 ($Z=2,85$; $p<0,01$). Le temps nécessaire pour réaliser le deuxième exercice était également plus court dans le groupe expert, mais sans différence significative ($p = 0,052$).

Volume d'os réséqué

Nous n'avons pas mis en évidence de différence significative entre les deux groupes concernant le volume d'os réséqué en considérant l'ensemble des 4 exercices ($Z=1,37$; $p>0,05$; figure 4C). Dans les analyses détaillées, la quantité d'os réséqué était significativement supérieure dans le groupe expert pour l'exercice 2 ($Z=2,01$; $p<0,05$).

Efficacité

A partir des données objectives fournies par le software du simulateur, nous avons construit un paramètre d'évaluation supplémentaire appelé « efficacité », correspondant au volume d'os réséqué par unité de temps. L'efficacité dans le groupe expert, tous exercices confondus, était significativement supérieure à celle du groupe novice ($Z=5,14$; $p<0,001$; figure 4D). On retrouvait cette différence significative d'efficacité entre les deux groupes dans les exercices 1 ($Z=3,62$; $p<0,001$), 2 ($Z=2,34$; $p<0,05$), et 3 ($Z=3,13$; $p=0,01$).

Nombre d'erreurs

Sur l'ensemble des exercices, et pour tout type d'erreur confondu, aucune différence significative n'est retrouvée entre le nombre d'erreurs commises par le groupe novice et le nombre d'erreurs commises par le groupe expert ($Z=1,25$; $p>0,05$; Tableau 2). Cependant, une analyse plus détaillée retrouvait significativement plus d'atteinte de la paroi postérieure du conduit dans le groupe novice par rapport au groupe expert ($Z=3,15$; $p<0,01$).

Validité subjective

Validité de surface (tableau 3)

Le réalisme du simulateur a été évalué au moyen de plusieurs items, notamment l'apparence de la fraise, des structures anatomiques, le retour de force... Le réalisme global du simulateur a été jugé comme satisfaisant par le groupe expert (score moyen : 3,4 ; Tableau 3). Les autres items évalués étaient acceptables (score moyen > 3) excepté l'ergonomie du simulateur jugée comme peu satisfaisante (score moyen : 2,4). L'item le plus satisfaisant était la représentation des rapports anatomiques (score moyen : 4,3).

Validité de contenu (Tableau 4)

L'apport pédagogique du simulateur dans l'apprentissage de la chirurgie de l'os temporal a également été évalué par le groupe expert au moyen de plusieurs items : apprentissage de l'anatomie, apprentissage des techniques chirurgicales, navigation avec la fraise, coordination... Les experts jugeaient le simulateur plutôt pertinent d'un point de vue pédagogique (score moyen 4,1 ; Tableau 4). 93,7% des chirurgiens du groupe expert recommanderaient ce simulateur pour l'apprentissage de l'anatomie (score ≥ 4). La plupart d'entre eux (87,5%) rapportaient également que ce simulateur pourrait être intégré au sein d'un cursus de formation pour les jeunes chirurgiens (score ≥ 4).

DISCUSSION

Dans cette étude, l'objectif était d'étudier l'intérêt pédagogique du simulateur Voxel-Man® notamment via la validité de construction qui est la capacité du simulateur à différencier deux groupes de participants selon leur niveau d'expérience. Pour répondre à cet objectif, nous avons sélectionné quatre exercices précis sur le simulateur qui correspondent aux quatre premières étapes fondamentales de toute chirurgie des CPOM. Nos résultats montrent que, sur l'ensemble des 4 exercices, les experts sont significativement plus performants et plus rapides que les novices. Le groupe expert n'a pas réséqué significativement plus d'os que le groupe novice mais l'a fait plus rapidement. Le groupe expert est donc significativement plus efficace que le groupe novice. Ces résultats appuient la validité de construction du simulateur.

Des études précédemment publiées sur des simulateurs chirurgicaux ont identifié le temps et le nombre d'erreurs comme critères clés pour départager différents niveaux d'expérience (18–20). Bien que nos résultats montrent que les experts sont plus rapides que les novices pour réaliser les exercices, ils mettent également en évidence que les deux groupes commettent globalement le même nombre d'erreurs, sauf pour l'atteinte de la paroi postérieure du conduit auditif externe, plus fréquente dans le groupe novice. Cela peut s'expliquer par le fait que certaines structures comme la dure mère, ou le sinus latéral, sont considérés par les chirurgiens expérimentés comme des repères anatomiques et non comme des dangers. Ils n'hésitent donc pas à fraiser si nécessaire, au contact des ces structures, pour les squelettiser au maximum. A l'inverse, la paroi postérieure du conduit auditif externe est un repère très important pour la gestion du nerf facial en chirurgie des CPOM. Elle doit donc être affinée au maximum, en évitant toute effraction de celle-ci, ce qui aurait de lourdes conséquences iatrogènes. Le manque de connaissance et d'expérience de la part du groupe novice peut alors expliquer pourquoi ils lèsent cette structure plus souvent que les experts. Même si nos résultats ne montrent pas de différence significative concernant le nombre d'erreurs, on constate que le groupe novice a tendance à léser toutes les structures nobles, quelque soit le degré de sévérité de l'atteinte. Cette tendance pourrait refléter un manque de connaissance anatomique et un excès de force exercée par la fraise dans le groupe novice. Zaho et al. (21) ont montré que les experts commencent les exercices en fraisant avec une force importante, qu'il modère au fur et à mesure lorsque les structures nobles apparaissent, contrairement aux novices qui fraisent avec une force constante. Ces résultats montrent l'importance d'une bonne connaissance de la position de chaque structure anatomique. Dans notre étude, les experts ne lèsent jamais les structures les plus à risque telles que le nerf facial ou la corde du tympan. Cela conforte l'hypothèse

selon laquelle les experts envisagent les zones à risques différemment en fonction du danger réel pour le patient.

Khemani et al. (15) ont montré que le groupe expert résèque un volume d'os plus important que le groupe novice. En revanche Linke et al. (11) ne retrouvent pas de différence significative entre les deux groupes sur cette variable dans leur étude. Notre étude ne met pas non plus en évidence de différence significative entre les deux groupes concernant le volume d'os réséqué. Cela peut s'expliquer par le fait qu'en acquérant de l'expérience, les chirurgiens peuvent aisément réaliser une chirurgie de l'oreille moyenne en faisant des mastoïdectomies plus étroites. Néanmoins, le critère d'évaluation principal pour la construction du score établi par le software du simulateur est le ratio entre le volume d'os réséqué par le participant et le volume dit « de référence », établi par le software du simulateur. On peut donc s'interroger sur la pertinence de cette variable comme facteur principal pour la construction du score d'évaluation. Comme mentionné précédemment, le temps nécessaire pour réaliser les exercices et l'efficacité du fraisage semblent être des critères plus discriminants pour départager les deux groupes. La construction du score de performance produite par le simulateur pourrait donc être repensée, en accordant plus d'importance à ces critères plus discriminants.

Les études précédentes de la littérature ont évalué la validité de construction en ne s'intéressant qu'à un seul exercice proposé par le simulateur (11–14). Sur un seul exercice, il est difficile de transposer la validité du simulateur à une procédure chirurgicale entière au bloc opératoire. Nous avons donc ici sélectionné quatre exercices reflétant les principales étapes de la chirurgie des CPOM. Nos résultats ont montré que sur l'ensemble de ces exercices, les experts sont significativement meilleurs que les novices. Mais ces différences varient selon les exercices et leur niveau de difficulté. Le premier exercice (ouverture de la corticale osseuse) peut être considéré comme le plus accessible. C'est la première étape de toute chirurgie des CPOM. Pourtant, les deux groupes obtiennent de meilleurs scores dans l'exercice 2 (exposition du sinus sigmoïde), ce qui suggère que les participants, au-delà de la difficulté des exercices, ont eu besoin d'un exercice supplémentaire pour se familiariser avec le simulateur. Aucune différence significative n'est observée entre les groupes pour ces deux premiers exercices. Ce résultat pourrait s'expliquer par le moindre niveau de difficulté de ceux-ci, les rendant moins discriminants pour différencier les deux groupes. De plus, les structures nobles les plus souvent touchées dans ces exercices (dure mère, sinus sigmoïde) sont en réalité les moins « graves », et peu de points sont imputés à ces erreurs par le simulateur. Le troisième exercice (exposition de la courte apophyse de l'enclume) est, quant à lui, le plus discriminant entre les deux groupes. Il correspond à une étape plus difficile de la chirurgie des CPOM et requiert une grande précision, de nombreuses structures nobles à

haut risque pouvant être lésées au cours de sa réalisation (chaîne ossiculaire, paroi postérieure du conduit, nerf facial, dure mère). L'exercice 4 (exposition du canal semi circulaire latéral) est le moins discriminant entre les deux groupes. Nous précisons que, concernant cet exercice, les consignes données par le simulateur étaient peu claires, et la grande majorité des participants n'a pas compris la finalité de l'exercice. En effet, en conditions réelles, l'exposition du canal semi circulaire est une étape qui intervient avant l'exposition de la courte apophyse de l'enclume, et non après comme le suggère l'ordre des exercices proposé par le simulateur. Cela pourrait donc expliquer, entre autre, l'absence de différence significative concernant cet exercice.

Globalement, le simulateur a suscité de bonnes appréciations concernant la validité de surface et de contenu. Les experts ont particulièrement bien noté la réalité anatomique et le fonctionnement de la fraise. La plupart d'entre eux (93,7%) recommanderaient le simulateur pour l'apprentissage de l'anatomie, et pensent que le simulateur pourrait être intégré dans un programme d'entraînement chirurgical. Ces résultats vont dans le même sens que de précédentes études qui ont évalué la validité de surface et de construction (12,13). Aora et al. (22), dans une récente étude, ont évalué le Voxel Man® au sein d'un programme de formation initiale. Ils ont jugé le réalisme du simulateur quasi-optimal et ont encouragé le fabricant à améliorer le fonctionnement de la fraise et la perception des profondeurs en 3D. Nos résultats renforcent ceux d'Aora et al. pour apporter des améliorations sur le logiciel du simulateur.

Le simulateur Voxel Man® a été évalué comme très réaliste concernant la représentation des structures et des rapports anatomiques. Cela permet aux jeunes chirurgiens d'améliorer leurs connaissances concernant l'anatomie chirurgicale de l'os temporal, et de travailler différentes étapes de la chirurgie avec un retour de force jugé acceptable. Cependant, certains aspects nécessitent d'être améliorés comme l'ergonomie de la position opératoire, et la position du canal semi circulaire postérieur.

Ces résultats montrent que le simulateur Voxel Man® a toute sa place dans l'arsenal pédagogique permettant la formation en chirurgie otologique. Des travaux complémentaires sont toutefois nécessaires pour renforcer la validité du simulateur en tant qu'outil d'apprentissage. L'évaluation de courbes d'apprentissage chirurgicales grâce au simulateur pourrait être intéressante car elle permettrait de comparer performance des experts à celles des novices après atteinte de la phase de plateau pour ce dernier groupe. Un autre aspect intéressant à étudier serait d'évaluer la corrélation des compétences sur le simulateur, et sur le vivant au bloc opératoire. Enfin, la validité du simulateur pourrait être évaluée au sein d'un programme de formation standardisé en chirurgie otologique, et si elle est confirmée, le

simulateur pourrait être utilisé non seulement comme outil de formation mais également comme outil de certification pour les chirurgiens.

Dans l'apprentissage et l'entraînement à la chirurgie au bloc opératoire, un jeune chirurgien plus ou moins expérimenté est guidé et supervisé par un chirurgien senior. Or la présence du chirurgien senior ne réduit que partiellement le risque médical pour le patient, En particulier en chirurgie otologique qui s'effectue sous microscope, dans un champ opératoire à la surface très restreinte, ne laissant suffisamment de place que pour les instruments de l'opérateur. Il est impossible pour le chirurgien senior d'aider, d'interrompre un mauvais mouvement, de récupérer rapidement les instruments, ou de guider une gestuelle autrement que par le biais de consignes orales. De plus, cela rallonge considérablement le temps opératoire induisant ainsi une augmentation du risque de complications post opératoires et un coût financier plus important. Ces constatations expliquent le besoin grandissant de développer des méthodes d'apprentissage alternatives en dehors du bloc opératoire. L'entraînement sur simulateur présente plusieurs avantages : entraînement sur oreille normale ou pathologique, répétitions des exercices à l'infini, dans des conditions reproductibles, accès facile, système d'auto-évaluation permettant à l'étudiant de corriger ses propres erreurs instantanément, sans risque pour le patient (23). Le simulateur de réalité virtuelle n'est à l'heure actuelle pas assez performant pour remplacer totalement les techniques d'apprentissage traditionnelles, mais peut être envisagé en accompagnement pour potentialiser l'apprentissage de la chirurgie otologique.

CONCLUSION

Le simulateur de réalité virtuelle Voxel Man® représente un outil pédagogique intéressant en complément des méthodes traditionnelles d'apprentissage de la chirurgie otologique. Bien que certains aspects soient à améliorer, il permet actuellement aux jeunes chirurgiens d'acquérir une bonne connaissance tridimensionnelle de l'anatomie de l'oreille moyenne, et les bases techniques des étapes complexes de cette chirurgie. De par sa capacité à distinguer les experts des novices, il pourrait à terme être utilisé comme un outil d'évaluation et de certification pour les jeunes chirurgiens avant de passer aux étapes suivantes de l'apprentissage.

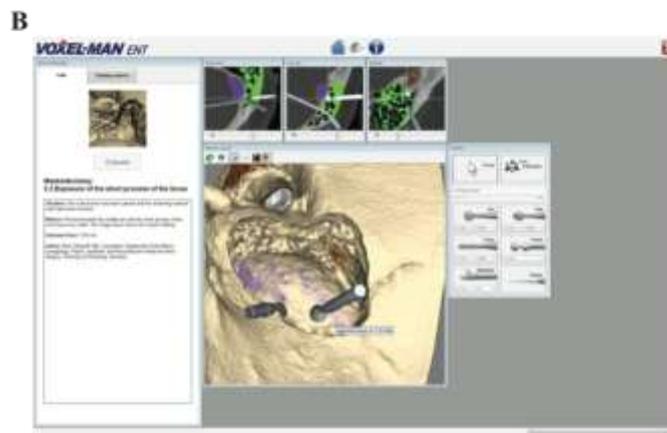
1. Portmann D. Manuel pratique de chirurgie otologique. Masson. Masson; 1997. 258 p.
2. Bordure, Malard. Chirurgie des cavités postérieures de l'oreille moyenne et antroatticotomies. In: Encyclopédie Médico-Chirurgicale. Elsevier Masson. 2010. p. 16. (techniques chirurgicales tête et cou).
3. Fennessy BG, O'Sullivan P. Establishing a temporal bone laboratory: considerations for ENT specialist training. *Ir J Med Sci.* 2009;178(4):393-5. doi:10.1007/s11845-009-0373-x.
4. Chikwe J, Al. No time to train the surgeons. *BMJ.* 2004;328(7437):418-9.
5. Leuwer, Al. Stereoscopic simulation of ear surgery intervention with a novel 3D computer models. *Laryngorhinootologie.* 2001;80(6):298-302.
6. Snyder C, Al. Effects of virtual reality simulator training method and observational learning on surgical performance. *World J Surg.* 2011;35(2):245-52. doi:10.1007/s00268-010-0861-1
7. Solverson D, Al. Virtual reality simulation in acquiring and differentiating basic ophthalmic microsurgical skills. *Simul Healthc.* 2009;4(2):98-103. doi:10.1097/SIH.0b013e318195419e.
8. Grany et Moll. Etat de l'art (national et international) en matière de pratiques de simulation dans le domaine de la santé, Rapport de mission, HAS. 2012.
9. Van Nortwick SS, Lendvay TS, Jensen AR, Wright AS, Horvath KD, Kim S. Methodologies for establishing validity in surgical simulation studies. *Surgery.* 2010;147(5):622-30. doi:10.1016/j.surg.2009.10.068.
10. McDougall EM. Validation of surgical simulators. *J Endourol.* 2007;21(3):244-7
11. Linke R, Leichtle A, Sheikh F, Schmidt C, Frenzel H, Graefe H, et al. Assessment of skills using a virtual reality temporal bone surgery simulator. *Acta Otorhinolaryngol Ital.* 2013;33(4):273.
12. Reddy-Kolanu G, Alderson D. Evaluating the effectiveness of the Voxel-Man TempoSurg virtual reality simulator in facilitating learning mastoid surgery. *Ann R Coll Surg Engl.* 2011;93(3):205-8. doi:10.1308/003588411X565987.
13. Arora A, Khemani S, Tolley N, Singh A, Budge J, Varela DADV, et al. Face and content validation of a virtual reality temporal bone simulator. *Otolaryngol Head Neck Surg.* 2012;146(3):497-503. doi:10.1177/0194599811427385.
14. Nash R, Sykes R, Majithia A, Arora A, Singh A, Khemani S. Objective assessment of learning curves for the Voxel-Man TempoSurg temporal bone surgery computer simulator. *J Laryngol Otol.* 2012;126(7):663-9. doi:10.1017/S0022215112000734.
15. Khemani S, Arora A, Singh A, Tolley N, Darzi A. Objective skills assessment and construct validation of a virtual reality temporal bone simulator. *Otol Neurotol.* 2012;33(7):1225-31. doi:10.1097/MAO.0b013e31825e7977.

16. Francis HW, Malik MU, Diaz Voss Varela DA, Barffour MA, Chien WW, Carey JP, et al. Technical skills improve after practice on virtual-reality temporal bone simulator. *Laryngoscope*. 2012;122(6):1385-91. doi:10.1002/lary.22378.
17. Zirkle M, Roberson DW, Leuwer R, Dubrowski A. Using a virtual reality temporal bone simulator to assess otolaryngology trainees. *The Laryngoscope*. *Laryngoscope*. 2007;117(2):258-63.
18. Duffy AJ, Hogle NJ, McCarthy H, Lew JI, Egan A, Christos P, et al. Construct validity for the LAPSIM laparoscopic surgical simulator. *Surg Endosc*. 2005;19(3):401-5.
19. Woodrum DT, Andreatta PB, Yellamanchilli RK, Feryus L, Gauger PG, Minter RM. Construct validity of the LapSim laparoscopic surgical simulator. *Am J Surg*. 2006;191(1):28-32
20. Van Sickle KR, Baghai M, Huang I-P, Goldenberg A, Smith CD, Ritter EM. Construct validity of an objective assessment method for laparoscopic intracorporeal suturing and knot tying. *Am J Surg*. 2008;196(1):74-80. doi:10.1016/j.amjsurg.2007.08.058
21. Zhao YC, Kennedy G, Hall R, O'Leary S. Differentiating levels of surgical experience on a virtual reality temporal bone simulator. *Otolaryngol Head Neck Surg*. 2010;143(5 Supple 3):S30-5. doi:10.1016/j.otohns.2010.03.008.
22. Arora A, Hall A, Kotecha J, Burgess C, Khemani S, Darzi A, et al. Virtual reality simulation training in temporal bone surgery. *Clin Otolaryngol*. 2015;40(2):153-9. doi:10.1111/coa.12352.
23. Fried MP, Uribe JI, Sadoughi B. The role of virtual reality in surgical training in otorhinolaryngology. *Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg*. 2007;15(3):163-9

Tableau 1. Caractéristiques démographiques des participants

	Participants <i>n</i> = 74	Groupe Novice <i>n</i> = 58	Groupe Expert <i>n</i> = 16
Age Moyen	30.8 ± 9.3	26.8 ± 2.0	45.1 ± 11.1
Sexe, <i>n</i> (%)			
<i>Hommes</i>	39 (53 %)	27 (47 %)	12 (75 %)
<i>Femmes</i>	35 (47 %)	31 (53 %)	4 (25 %)
Main dominante, <i>n</i> (%)			
<i>Droitiers</i>	64 (86 %)	48 (83 %)	16 (100 %)
<i>Gauchers</i>	10 (14 %)	10 (17 %)	0 (0 %)
Participants amateurs de jeux vidéos*, <i>n</i> (%)	54 (73 %)	44 (76 %)	10 (60 %)

* Participants jouant aux jeux vidéo au moins deux heures par semaine



C

	Score
Task Fulfillment	
Score for correctly removed tissue.	74 ✘
Injuries	
4 injuries of sigmoid sinus	-8
4 injuries of dura	-4
Force	
excessive force (>1N) near sigmoid sinus	✘
excessive force (>1N) near facial nerve	✘
excessive force (>1N) near chorda tympani	✘
excessive force (>1N) near dura	✘
Instrument Handling	
Efficiency	
time used: 09:56 [min]	-2 ✘
Result	60 ✘

Figure 1 : illustrations du simulateur. (A) : Installation sur le simulateur. (B) : Visuel de l'écran du simulateur (C) Grille de score après réalisation de l'exercice.

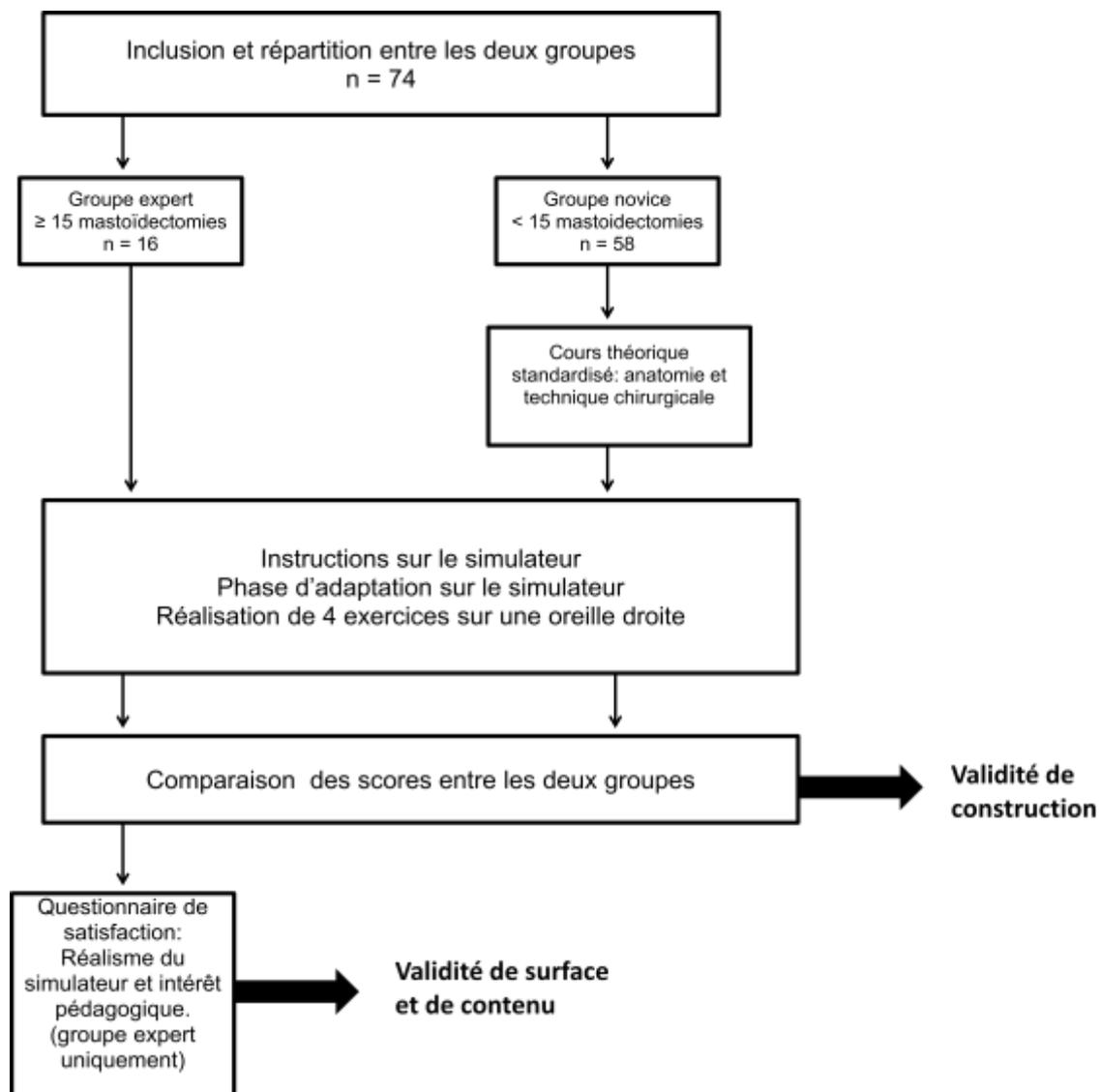


Figure 2 : Diagramme de Flux de l'étude

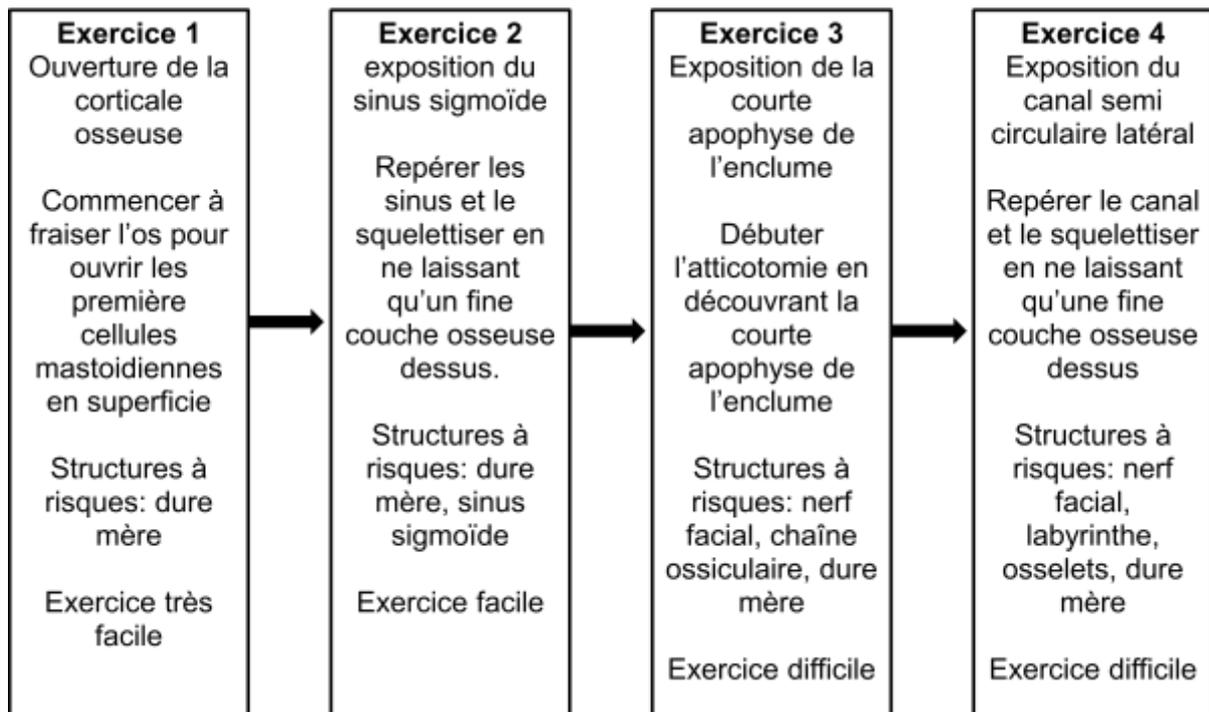


Figure 3 : déroulement de chaque exercice : intitulé des exercices, consignes aux participants, structures à risque et niveau de difficulté de l'exercice

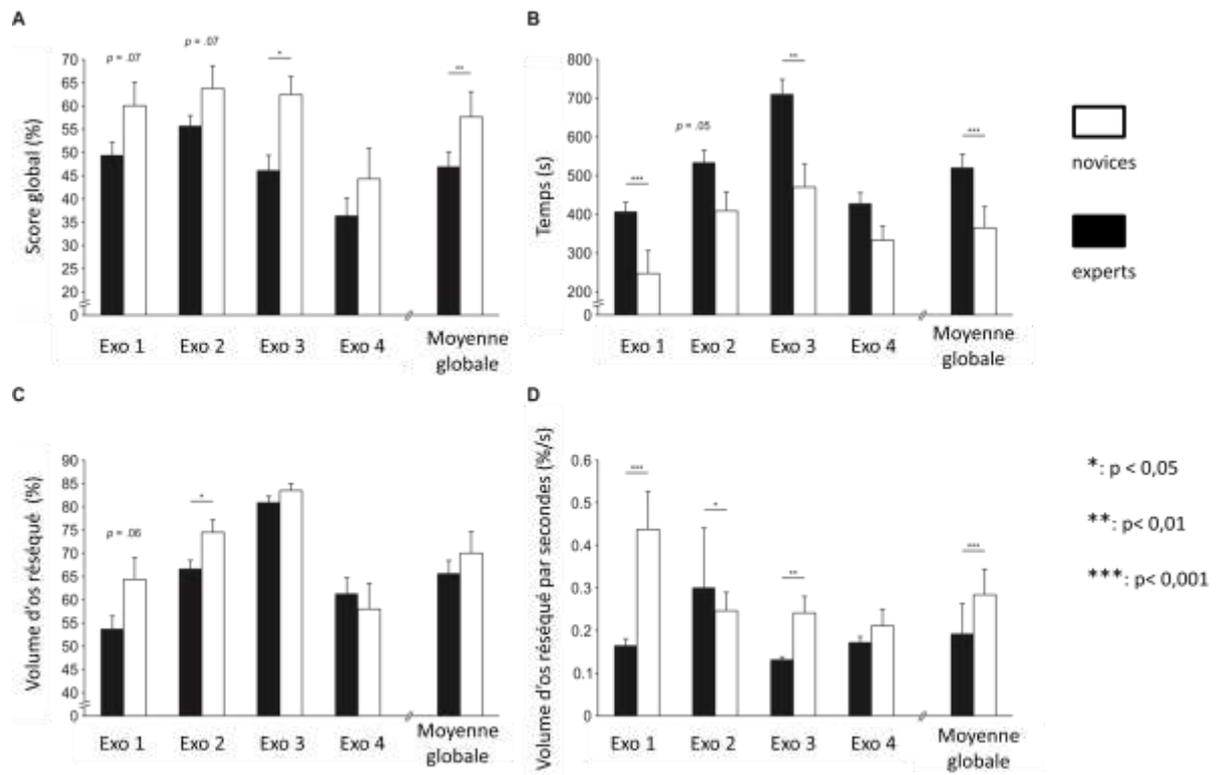


Figure 4 : principaux résultats : comparaison du score global moyen (A), du Temps (B), du volume d'os réséqué (C), et de l'efficacité (D), entre le groupe expert (colonnes noires) et le groupe novice (colonnes blanches).

Tableau 2 : moyenne et écarts types du nombre d'erreurs commises. (* indique les différences significatives $p < 0,05$)

	Novice Group $n = 58$	Expert Group $n = 16$
Nombre total d'erreurs	15.41 ± 28.27	7.88 ± 5.76
Atteinte de la Dure mère	3.02 ± 3.89	2.81 ± 2.04
Atteinte du sinus latéral	1.40 ± 2.32	1.88 ± 2.87
Atteinte du cerveau	0.34 ± 0.87	0.56 ± 0.81
Atteinte de la chaîne ossiculaire	3.76 ± 3.66	2.38 ± 2.33
Atteinte du labyrinthe	1.12 ± 2.6	0.13 ± 0.34
Atteinte de la corde du tympan	0.03 ± 0.18	0.00 ± 0.00
Atteinte du nerf facial	0.14 ± 0.44	0.00 ± 0.00
Atteinte de la paroi postérieure du conduit auditif externe*	5.60 ± 26.45	0.13 ± 0.50

Tableau 3 : Validité de surface. Moyennes des scores et écarts types.

	Groupe expert $n = 16$
Evaluation globale	3.4 ± 1.1
Représentation des structures anatomiques	3.5 ± 1.0
Rapports anatomique	4.3 ± 0.6
Apparence de la fraise	3.6 ± 0.7
Contrôle de la fraise	3.1 ± 1.1
Retour de force	3.1 ± 1.0
Efficacité de la fraise	3.9 ± 0.7
Ergonomie.	2.5 ± 1.2

Tableau 4 : Validité de construction Moyennes de scores et écarts types.

	Groupe expert <i>n</i> = 16
Evaluation globale	4.1 ± 1.1
Apprentissage de l'anatomie	4.7 ± 0.5
Apprentissage des techniques chirurgicales	4.1 ± 1.3
Entraînement à la coordination yeux-mains	3.9 ± 1.1
Intégration dans un programme de formation	4.5 ± 0.8
Entraînement avant un bloc opératoire	3.1 ± 1.5

ANNEXE 1 : Questionnaire de satisfaction concernant l'intérêt pédagogique

Evaluation de l'entraînement à la chirurgie sur simulateur de réalité virtuelle : protocole Voxel Man[®].

VALIDITE DE CONTENU

Trois premières lettres du prénom :

Trois premières lettres du nom de famille :

1- Conseilleriez-vous cet outil à un collègue/élève ?

a. Pour l'apprentissage de l'anatomie ?

- Non certainement pas
- Probablement pas
- Je ne sais pas
- Probablement
- Oui, certainement

b. Pour l'apprentissage de la technique chirurgicale ?

- Non certainement pas
- Probablement pas
- Je ne sais pas
- Probablement
- Oui, certainement

c. Pour l'apprentissage de la coordination yeux-mains ?

- Non certainement pas
- Probablement pas
- Je ne sais pas
- Probablement
- Oui, certainement

2- Pensez vous que cet outil d'apprentissage pourrait faire partie intégrante d'un curriculum d'un chirurgien en formation ?

- Non certainement pas
- Probablement pas

- Je ne sais pas
- Probablement
- Oui, certainement

3- Si vous aviez un accès facile à cet outil, viendriez-vous vous y entraîner pour préparer une intervention ?

- Non certainement pas
- Probablement pas
- Je ne sais pas
- Probablement
- Oui, certainement

Commentaires :

ANNEXE 2 : Questionnaire de satisfaction concernant le réalisme du simulateur.

Evaluation de l'entraînement à la chirurgie sur simulateur de réalité virtuelle : protocole Voxel Man[®].

VALIDITE DE SURFACE

Trois premières lettres du prénom :

Trois premières lettres du nom de famille :

4- Comparé à la réalité, comment qualifiez vous la réalité anatomique du simulateur ?

a. En termes de couleur ?

- Très mauvaise
- Mauvaise
- Moyenne
- Bonne
- Très bonne

b. En termes de forme ?

- Très mauvaise
- Mauvaise
- Moyenne
- Bonne
- Très Bonne

c. En termes de rapports anatomique ?

- Très Mauvaise
- Mauvaise
- Moyenne
- Bonne
- Très bonne

5- Comparé à la réalité comment qualifiez vous l'outil de fraisage virtuel ?

a. En termes d'aspect visuel ?

- Très mauvais
- Mauvais

- Moyen
- Bon
- Très Bon

b. En termes de prise en main ?

- Très mauvais
- Mauvais
- Moyen
- Bon
- Très Bon

c. En termes de retour de force ?

- Très mauvais
- Mauvais
- Moyen
- Bon
- Très Bon

d. En termes de fonctionnement (délai entre l'action de la fraise et le rendu visuel) ?

- Très mauvais
- Mauvais
- Moyen
- Bon
- Très bon

6- Comparé à la réalité, comment qualifiez vous l'outil d'aspiration virtuel ?

a. En termes d'aspect visuel ?

- Très mauvais
- Mauvais
- Moyen
- Bon
- Très Bon

b. En termes de prise en main ?

- Très mauvais
- Mauvais
- Moyen
- Bon
- Très Bon

c. En termes de fonctionnement ?

- Très mauvais
- Mauvais
- Moyen
- Bon
- Très Bon

7- Comparé à la réalité comment qualifiez vous la position opératoire ?

- Très mauvaise
- Mauvaise
- Moyenne
- Bonne
- Très bonne

Commentaires :

Construct, face, and content validation on Voxel-Man® simulator for otologic surgical training

M. Varoquier¹, C. P. Hoffmann^{1,2*}, C. Perrenot³, N. Tran⁴, and C. Parietti-Winkler^{1,2}

¹ Department of Oto-Rhino-Laryngology, Head and Neck Surgery, University Hospital of Nancy, 29 Av. de Lattre de Tassigny – F-54000 Nancy,

² *Développement, Adaptation et Handicap* Laboratory (DevAH – EA 3450), Faculty of Medicine and Faculty of Sports Science, University of Lorraine, F-54500 Vandœuvre-lès-Nancy,

³ Department of General and Oncological Surgery, University Hospital of Nancy, rue de Morvan, F-54500 Vandœuvre-lès-Nancy,

⁴ The Nancy School of Surgery, Faculty of Medicine, University of Lorraine; F-54500 Vandœuvre-lès-Nancy.

ABSTRACT

Objective: To assess the face, content, and construct validity of the Voxel-Man® TempoSurg Virtual Reality simulator.

Study design: Prospective study.

Methods: 74 ear, nose, and throat surgeons participated. They were assigned to one of two groups according to their level of expertise: the expert group (≥ 15 mastoidectomies performed, $n=16$) and the novice group (< 15 mastoidectomies, $n=58$). Both groups benefited from a prior simple task to familiarize themselves with the simulator. After this warm-up session, the participants performed four temporal bone dissection tasks. Both group's performances were assessed by a global score then compared to assess the construct validity of the simulator. Finally, the expert group assessed the face and content validity.

Results: The experienced surgeons performed better (58.0% vs. 50.0%, $p < 0.01$) and faster (336.0s vs. 472.0s, $p < 0.001$) than the novices. However, the groups did not differ in terms of bone volume removed (70.0% for novices vs. 75.5% for experts) or number of injuries to structures (9.0 for novices vs. 6.0 for experts). All except one experienced surgeon (93.7%) would recommend the Voxel-Man simulator for anatomical learning. Most (87.5%) also thought that it could be integrated into surgical training.

Conclusion: The Voxel-Man simulator constitutes an interesting complementary tool to traditional teaching methods for training in otologic surgery. It allows trainees to acquire a good three-dimensional visualization of anatomy and learn surgical skills. By selecting appropriate exercise, this simulator can distinguish different levels of expertise, and could also be used as a certification tool, constituting a prior condition for performing real-life surgery.

INTRODUCTION

Temporal-bone surgery requires thorough knowledge of middle-ear anatomy and great surgical precision. Novice surgeons typically obtain anatomical knowledge by means of anatomical boards, yet these do not offer them a good three-dimensional (3D) visual representation of the ear's structures. In addition, until very recently, training on cadaveric models was the only way to acquire surgical otologic skills for beginners due to the absence of any adequate animal model. However, obstacles imposed by legislative, ethical, and costs issues, seriously limited access to human temporal bones¹, thus reducing the total training time². New technologies could help overcome these limitations by developing methods for teaching complex otologic skills.

Virtual reality (VR) is of growing interest in medical education, especially in surgery³⁻⁵. This new tool offers many advantages by teaching technical skills in a controlled and safe environment, ensuring reproducible conditions. In addition, novice surgeons can practice independently, unhindered by constraints, *e.g.*, material support, availability of expert tutors, operating time. More importantly, VR simulators allow medical students to repeatedly practice a series of standardized surgical tasks until flawless execution. This process reduces the risks for both patients and students. This is crucial in surgery, where even a minor error can lead to dramatic consequences for the patient.

Before it can be used in a surgical training program, a simulator must fulfill several criteria. The principles of validating simulators are based on two aspects⁶: subjective and objective validity. Subjective validity is assessed by the face and content validity, which are usually evaluated by satisfaction surveys completed by experienced surgeons. Face validity measures the realism of various components and aspects of the simulator (*e.g.*, color, representation of anatomical structures, and force feedback), whereas the content validity

assesses the pedagogical value of the simulation platform. Objective validity is largely concerned with the construct validity, which refers to the simulator's ability to distinguish between different levels of expertise⁷.

The Voxel-Man TempoSurg was the first commercially-available temporal bone simulator and has already been evaluated in the literature⁸⁻¹⁴. In 2011, Arora *et al.*¹⁰ assessed both its face and content validity and suggested that the simulator's realism could be improved. However, they considered the opinions of both expert and novice surgeons, whereas it seems more relevant to use only experts' assessments⁶. Concerning the construct validity, Khemani *et al.*¹² reported that the objective metrics produced by the simulator can be used to differentiate between surgeons of differing levels of expertise. This result is in line with that reported by Linke *et al.*⁸, where experienced ear surgeons performed better and faster than beginners. However, no differences were found between the groups in terms of the bone volume removed. In both studies, they evaluated surgeons on one particular surgical task whereas the simulator could offer a substantial list of different exercises. To date, it is not clear if the internal metrics produced by the simulator can objectively distinguish between the different levels of surgical expertise in every task it offers. We therefore focused our attention in this study on four temporal dissection tasks of fundamental importance in ear surgery, as they correspond to the first steps of ear surgery learning. The aim of this study was to assess the face, content, and construct validity of the Voxel-Man TempoSurg VR simulator for temporal bone dissection in an otologic training program.

MATERIAL AND METHODS

Participants

74 ear, nose, and throat (ENT) surgeons took part in this experiment. They were divided into two groups according to their level of expertise: the expert group (≥ 15 mastoidectomies performed, $n=16$) and the novice group (< 15 mastoidectomies, $n=58$). The cut-off value of 15 mastoidectomies was chosen according to previously simulator evaluations in the literature¹². All participants were informed about the aims of the study and each provided informed consent prior to participation in the study.

Simulator

All testing was performed on a Voxel-Man TempoSurg simulator (VOXEL-MAN, Hamburg, Germany) at the Nancy School of Surgery, France. The participants were seated at a table in front of a 3D monitor, which was used to display a virtual environment that simulated a right-ear surgery (Fig.1). The skull – derived from high-resolution computed tomography data – and instruments, *i.e.*, drill and suction, were modeled in high-definition by a computer. The instruments were controlled using force-feedback hand styluses. The surgical site could be inspected from all possible directions at any point. The simulation was continuously updated by the participant's interaction with the two force-feedback devices. At the end of each task, the simulator provided a global score based on the bone volume removed. An optimal volume of 100% was established by the simulator, which was compared to the participant's bone volume removed. Then, the simulator gave penalties if participants injured any anatomical structures. Each penalty was weighted according to the severity of injury. Finally, a 1-point penalty was applied to the global score for each minute exceeding the time limit.

Experimental design

The novice surgeons were provided with a standardized anatomic description and basic surgical skills by a confirmed surgeon. Both groups were then presented with a standardized description of the simulator. Before starting the evaluation, each participant performed a simple 5-min drilling task, *i.e.*, writing their names, in order to familiarize themselves with the simulator. Once the familiarization phase was completed, each participant performed only once the four following temporal bone dissection tasks in standardized conditions, *i.e.*, normal right ear (Fig.2). The participants were instructed to perform each task as fast as possible without damaging the neighboring anatomic structures.

Once all the dissection tasks were completed, the realism and training effectiveness of the simulator were assessed by the expert group using qualitative surveys rated on a five-point Likert-type scale, in which 1 represented not true/realistic/useful and 5 represented very true/realistic/useful. A score of 3 was considered neutral.

Data acquisition

The outcome measures for each participant in each dissection task were global score, bone volume removed, time taken, efficiency (*i.e.*, bone volume removed per second), and number of structure injuries obtained from the Voxel-Man simulator. The groups' performances were compared to assess the construct validity of the simulator. Data from the survey was collected to assess face and content validity.

Statistical analysis

SPSS software (version 20.0, IBM Company, Chicago, Illinois) was used for analyses. All data was examined for normality using the Shapiro-Wilk test. Due to the non-normal distribution of data, a non-parametric Mann-Whitney U test was used to compare the overall

performances of the expert and novice groups, consisting of global score, bone volume removed, time taken, efficiency, and number of structure injuries. Another non-parametric Mann-Whitney U test was conducted to compare between performances of the two groups in each temporal bone dissection task. The level of significance was set to $p < 0.05$.

RESULTS

Construct validity

Our results demonstrated that the experts globally scored better than the novices ($p < 0.01$, Fig.3A). Detailed analyses, however, revealed that the experts only performed better in Task 3 ($p < 0.05$). In Tasks 1 and 2, the experts scored slightly better, but the analyses failed to reveal any significant differences (all $p = 0.07$). Univariate analysis showed that the experts globally performed faster than the novices ($p < 0.001$, Fig.3B), even though they only achieved shorter times in Tasks 1 ($p < 0.001$) and 3 ($p < 0.01$). The experts also revealed a tendency to complete the second task faster, although no significant difference was found ($p = 0.052$). Both groups globally removed the same volume of bone ($p = 0.17$, Fig.3C), despite the fact that the experts removed more bones than the novices in Task 2 ($p < 0.05$). In addition, the experienced surgeons were more efficient than the students ($p < 0.001$, Fig.3D), notably in Tasks 1 ($p < 0.001$), 2 ($p < 0.05$), and 3 ($p < 0.01$).

The novices injured the same number of structures as the experts when considering all the tasks ($p = 0.16$, Table 1), with a more detailed analysis revealing that they only inflicted more injuries on the posterior canal wall, in comparison with the experts ($p < 0.001$).

Subjective validity

Face validity

The realism of the simulator was assessed across several items (Table 2). The global realism assessment score was satisfactory (mean score: 3.4). All except one experienced ear surgeon rated the simulator as realistic (mean score: 3.4). Only the ergonomics of the simulator were rated below average (mean score: 2.5). All the other items were judged as acceptable and the most satisfying were the realism of the anatomic structures and drill (4.3 and 3.9, respectively).

Content validity

The degree to which the simulator represented the fundamental problem of a temporal bone dissection was assessed across the several items reported in Table 2. All the experts, except one, positively rated the simulator (mean score: 4.1), in particular noting the pedagogical value of the simulator (mean score: 4.1). In addition, 93.7% of the experienced surgeons said they would recommend the Voxel-Man simulator for anatomy learning (score of at least 4 for 5). Most of them (87.5%) also thought that this simulator could be integrated into surgical training courses (score of at least 4 for 5).

DISCUSSION

In this study, we assess whether the Voxel-Man simulator can distinguish between experienced and novice surgeons. To meet this objective, we selected four temporal bone dissection tasks considered as the first fundamental steps in most middle- and inner-ear surgeries. Our results demonstrate that experienced surgeons obtained better overall scores than novices and completed the tasks faster while removing the same volume of bone. These results support the construct validity of the Voxel-Man TempoSurg VR simulator.

Previous studies have identified the time taken and number of injuries as key factors in differentiating surgeons of differing levels of expertise¹⁵⁻¹⁷. Although our data revealed that the experienced surgeons took less time to complete the tasks, they did demonstrate that the experts caused injuries to structures at risk as frequently as novices, except for the posterior wall of the outer ear canal, which was less often injured by the experts. This could be on account of some structures (*e.g.*, the dura or sigmoid sinus) being used by surgeons as surgical landmarks. Furthermore, they didn't hesitate to drill in contact with them. The exposure of critical structures calls for extreme precision and extensive knowledge of ear anatomy. Despite our analyses revealing no significant differences in the number of injuries caused between the groups, we can see that the novices more often tended to injure all the structures. This may reflect a lack of anatomical knowledge and experience among novices or be related to excessive force exerted on the drill. Indeed, Zhao *et al.*¹⁸ reported that expert surgeons tend to start virtual temporal bone surgery by exerting high force, then reducing this force when approaching critical structures, contrary to novices who used the same force throughout the task. This result points out the importance of having a thorough knowledge of the location of each structure. Interestingly, in our study, the experts never injured fundamental structures like the facial nerve or chorda tympani. This supports the observation that experts are less hesitant in approaching very close to structures at risk or even in touching them, according to their importance.

Other variables could also be added for greater assessment of expertise. Khemani *et al.*¹² found that experienced surgeons removed larger bone volumes compared to novices. However, Linke *et al.*⁸ reported no differences between their participants regarding this variable. In line with the latter, we here found no differences, globally, in the bone volume removed by experts and that removed by novices. These results suggest that experienced surgeons are able to perform efficient middle-ear surgery without removing large volumes of

bone. The ratio of bone volume removed by the participant to reference volume therefore appears to represent an inappropriate variable as the most important criterion for assessing task achievement, which is exactly what the software included with the Voxel-Man TempoSurg simulator does. As previously mentioned, the time taken by participants to complete the different tasks appeared to be a more discriminative criterion than this ratio, as did the drilling efficiency of surgeons. Still, the objective metrics generated by the simulator seem to be suboptimal and could be improved by according more weight to other key factors of performance, such as the time taken or drilling efficiency, whilst taking into account injuries to critical structures.

Previous studies have supported the construct validity of the Voxel-Man TempoSurg simulator for a specific task^{8,12}. We here divided the mastoidectomy into four stepwise tasks, as it remained unclear whether the validity of the simulator was transferable to an entire procedure like inner- and middle-ear surgery. Although our results revealed that the experts globally scored better than the novices, we also demonstrated that the simulator could distinguish between experienced and novice surgeons depending on the task imposed. This raised the question of the level of task complexity to differentiate between surgeons of differing levels of expertise. In our study, the first task, *i.e.*, opening the cortical bone, was *a priori* considered the easiest, as it is the first operating step of any ear surgery. However, both groups scored better in Task 2, namely the exposure of the sigmoid sinus. This result suggests that despite benefitting from a quick familiarization task, the participants required one more exercise to fully master the simulator. Another explanation could be that Task 2 was too easy to complete – no high-risk structures needed to be exposed – and thus not useful for distinguishing between experienced and novice surgeons. The third task, *i.e.*, the exposure of the short process of the uncus, was the most discriminative exercise between the groups, presumably because it was more difficult to complete, requiring higher precision of gesture

and a thorough knowledge of middle-ear anatomy. In this task, there is more risk of injuring fundamental structures compared to that of Tasks 1 and 2, due to the participants having to drill very close to the external auditory canal wall, auditory ossicles, and facial nerve. Task 4, *i.e.*, exposing the semi-circular lateral canal, was the least discriminative exercise. It should be noted that most of the participants did not fully understand what to do and did not really recognize the value of this exercise. In most surgery procedures, the exposure of the semi-circular lateral canal is, in fact, already complete before the exposure of the short process of the uncus, *i.e.*, Task 3. This could explain why Task 4 was poorly discriminative. These results pointed out the necessity to seriously consider what tasks could be selected from the list offered by the simulator to differentiate between novices and experts, depending on the type of surgery training.

The simulator obtained an overall good appreciation for face and content validity. All the experts particularly appreciated the anatomical disposition of the structures and drill running. Most of the experienced surgeons (93.7%) would recommend the Voxel-Man simulator for teaching ear anatomy and thought that this simulator could be integrated into surgical training courses. These results are in line with previous studies assessing the face and content validity of the Voxel-Man^{9,10}. In a recent study, Arora *et al.*¹⁹ suggested that the Voxel-Man could be included in a proficiency-based curriculum. They evaluated the realism of the simulator as suboptimal and encouraged the manufacturer to improve the drill ergonomics and deepen the visual-spatial perception. For a current simulator, we attest that the Voxel-Man TempoSurg provides a satisfactory resemblance to the anatomic details of the human temporal bone. It allows students to expand their knowledge of temporal-bone anatomy and to perform surgical tasks with relatively realistic haptic feedback. Nevertheless, some features do require improvement, such as the ergonomics and position of the horizontal semi-circular canal. However, the issue then arises of whether an absolutely perfect

reproduction of human temporal bone surgery is truly necessary to acquire strong surgical otologic skills. Further work should be conducted in consideration of this issue by investigating the effectiveness of the simulator as a learning tool, in which an assessment of learning curves could be interesting or determine at which time point there is no longer any difference between the two groups. One other interesting perspective could be to consider the predictive validity (i.e. transfer to operating room). This raises the question as the VR simulator could be used for the certification of medical students, who would not be authorized, for example, to operate on real patients before having reached a certain number of points on the simulation platform.

Real-life surgery training consists of the teaching and supervision of a more or less inexperienced surgeon by an experienced ear surgeon. However, the presence of an expert does not reduce the risk of medical error to zero. Moreover, the operational time tends to be increased by the instructions and advice given by the mentor to his student. Longer operation times can induce more postoperative complications for patients and increase costs for hospitals. These issues underline the need to develop alternative methods of learning outside the operating room. Training using a virtual temporal bone offers many significant advantages, including the possibility to train on normal or pathological ears and to repeat the procedure an infinite number of times in reproducible conditions. Simulators are accessible, allowing students to self-correct their errors by starting over, providing the possibility of self-assessment, and reducing the consumption of cadaveric material. Temporal-bone surgery is complex, with small errors in judgment resulting in potentially dramatic consequences²⁰. It requires extensive surgical skills that training on a simulator can provide. Experienced surgeons could also use VR to prepare for specific surgeries with special surgical conditions in order to minimize patient risk. Nevertheless, despite technological advances, current virtual

surgical simulators cannot replace traditional human temporal bone surgery, yet they can supplement traditional training methods for ear surgeons.

CONCLUSION

The Voxel-Man TempoSurg Virtual Reality simulator constitutes an interesting complementary tool to traditional teaching methods for training in otologic surgery. Although some features require improvements, this simulator allows trainees to acquire a good 3D visualization of ear structures and to learn complex surgical skills. The simulator's ability to distinguish between different levels of expertise largely depends on the tasks submitted to participants. Thus, by selecting appropriate exercise, this simulator could also be used as a certification tool, constituting a prior condition for performing real-life surgery.

References:

1. Fennessy BG, O'Sullivan P. Establishing a temporal bone laboratory: considerations for ENT specialist training. *Ir J Med Sci.* 2009;178(4):393-5. doi:10.1007/s11845-009-0373-x.
2. Chikwe J, de Souza AC, Pepper JR. No time to train the surgeons. *BMJ.* 2004;328(7437):418-9.
3. Leuwer R, Pflesser B, Urban M. Stereoscopic simulation of ear surgery intervention with a novel 3D computer models. *Laryngorhinootologie.* 2001;80(6):298-302.
4. Snyder CW, Vandromme MJ, Tyra SL, Porterfield JR Jr, Clements RH, Hawn MT. Effects of virtual reality simulator training method and observational learning on surgical performance. *World J Surg.* 2011;35(2):245-52. doi:10.1007/s00268-010-0861-1.
5. Solverson DJ, Mazzoli RA, Raymond WR, Nelson ML, Hansen EA, Torres MF, Bhandari A, Hartranft CD. Virtual reality simulation in acquiring and differentiating basic ophthalmic microsurgical skills. *Simul Healthc.* 2009;4(2):98-103. doi:10.1097/SIH.0b013e318195419e.
6. Van Nortwick SS, Lendvay TS, Jensen AR, Wright AS, Horvath KD, Kim S. Methodologies for establishing validity in surgical simulation studies. *Surgery.* 2010;147(5):622-30. doi:10.1016/j.surg.2009.10.068.
7. McDougall EM. Validation of surgical simulators. *J Endourol.* 2007;21(3):244-7.
8. Linke R, Leichtle A, Sheikh F, Schmidt C, Frenzel H, Graefe H, Wollenberg B, Meyer JE. Assessment of skills using a virtual reality temporal bone surgery simulator. *Acta Otorhinolaryngol Ital.* 2013;33(4):273-81.
9. Reddy-Kolanu G, Alderson D. Evaluating the effectiveness of the Voxel-Man TempoSurg virtual reality simulator in facilitating learning mastoid surgery. *Ann R Coll Surg Engl.* 2011;93(3):205-8. doi:10.1308/003588411X565987.
10. Arora A, Khemani S, Tolley N, Singh A, Budge J, Varela DA, Francis HW, Darzi A, Bhatti NI. Face and content validation of a virtual reality temporal bone simulator. *Otolaryngol Head Neck Surg.* 2012;146(3):497-503. doi:10.1177/0194599811427385.
11. Nash R, Sykes R, Majithia A, Arora A, Singh A, Khemani S. Objective assessment of learning curves for the Voxel-Man TempoSurg temporal bone surgery computer simulator. *J Laryngol Otol.* 2012;126(7):663-9. doi:10.1017/S0022215112000734.
12. Khemani S, Arora A, Singh A, Tolley N, Darzi A. Objective skills assessment and construct validation of a virtual reality temporal bone simulator. *Otol Neurotol.* 2012;33(7):1225-31. doi:10.1097/MAO.0b013e31825e7977.
13. Francis HW, Malik MU, Diaz Voss Varela DA, Barffour MA, Chien WW, Carey JP, Niparko JK, Bhatti NI. Technical skills improve after practice on virtual-reality temporal bone simulator. *Laryngoscope.* 2012;122(6):1385-91. doi:10.1002/lary.22378.
14. Zirkle M, Roberson DW, Leuwer R, Dubrowski A. Using a virtual reality temporal bone simulator to assess otolaryngology trainees. *Laryngoscope.* 2007;117(2):258-63.

15. Duffy AJ, Hogle NJ, McCarthy H, Lew JI, Egan A, Christos P, Fowler DL. Construct validity for the LAPSIM laparoscopic surgical simulator. *Surg Endosc.* 2005;19(3):401-5.
16. Woodrum DT, Andreatta PB, Yellamanchilli RK, Feryus L, Gauger PG, Minter RM. *Am J Surg.* 2006;191(1):28-32.
17. Van Sickle KR, Baghai M, Huang IP, Goldenberg A, Smith CD, Ritter EM. Construct validity of an objective assessment method for laparoscopic intracorporeal suturing and knot tying. *Am J Surg.* 2008;196(1):74-80. doi:10.1016/j.amjsurg.2007.08.058.
18. Zhao YC, Kennedy G, Hall R, O'Leary S. Differentiating levels of surgical experience on a virtual reality temporal bone simulator. *Otolaryngol Head Neck Surg.* 2010;143(5 Supple 3):S30-5. doi:10.1016/j.otohns.2010.03.008.
19. Arora A, Hall A, Kotecha J, Burgess C, Khemani S, Darzi A, Singh A, Tolley N. Virtual reality simulation training in temporal bone surgery. *Clin Otolaryngol.* 2015;40(2):153-9. doi:10.1111/coa.12352.
20. Fried MP, Uribe JI, Sadoughi B. The role of virtual reality in surgical training in otorhinolaryngology. *Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg.* 2007;15(3):163-9.

Figure 1: Experimental Design



Figure 2: illustration of the experimental protocol

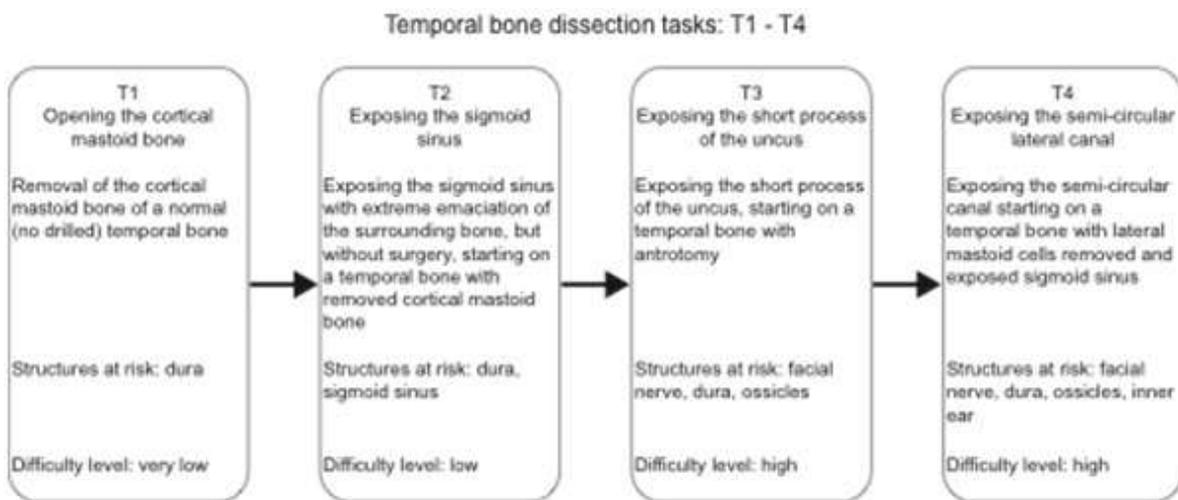


Figure 3. (A) Median global score, (B) time, (C) bone volume removed, and (D) the ratio of bone volume removed per second for the novice group (white bar) and expert group (grey bar). *Significant difference between the two groups (* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$).

Error bars represent interquartile range.

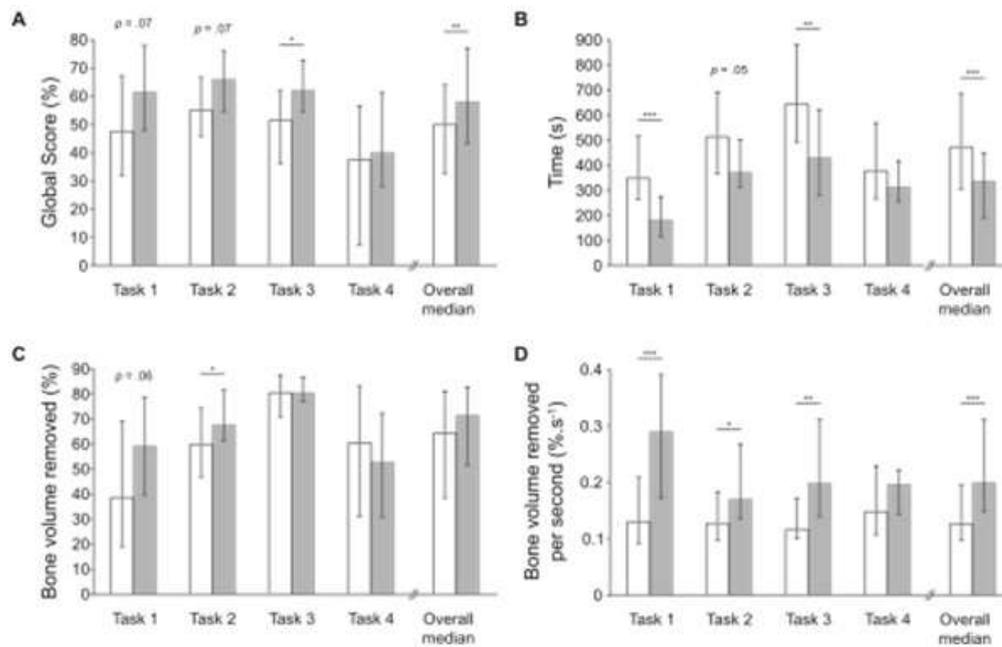


Table 1: subjective validity

		Expert Group (n = 16)
Face Validity	Global assessment	3.4 ± 1.1
	Appearance of anatomical structures	3.5 ± 1.0
	Appearance of anatomical rappings	4.3 ± 0.6
	Appearance of drill	3.6 ± 0.7
	Controlling of drill	3.1 ± 1.1
	Haptic feedback	3.1 ± 1.0
	Performance of drill	3.9 ± 0.7
	Ergonomics	2.5 ± 1.2
Content Validity	Global assessment	4.1 ± 1.1
	Teaching anatomy	4.7 ± 0.5
	Teaching surgical planning	4.1 ± 1.3
	Training hand-eye coordination	3.9 ± 1.1
	Curriculum	4.5 ± 0.8
	Transfer to operating room	3.1 ± 1.5

Data is presented mean ± standard deviation

VU

NANCY, le 4 mai 2016
Le Président de Thèse

NANCY, le 9 mai 2016
Le Doyen de la Faculté de Médecine

Professeur Cécile PARIETTI-WINKLER

Professeur Marc BRAUN

AUTORISE À SOUTENIR ET À IMPRIMER LA THÈSE/ 9165

NANCY, le 13 mai 2016

LE PRÉSIDENT DE L'UNIVERSITÉ DE LORRAINE,

Professeur Pierre MUTZENHARDT

RESUME :

Objectif : étudier la validité de construction, de surface et de contenu du simulateur Voxel Man® dans l'apprentissage de la chirurgie otologique.

Matériel et méthodes : Les participants, internes et seniors en ORL, ont été inclus de manière prospective dans l'étude et partagés en deux groupes selon leur niveau d'expérience : Novice (moins de 15 mastoïdectomies réalisées seul) et Expert (plus de 15 mastoïdectomies). Après une phase d'acclimatation, chaque participant réalisait les 4 mêmes exercices sur le simulateur dans les mêmes conditions. Les performances étaient évaluées par un score global calculé à partir du temps, du volume d'os réséqué, et des atteintes aux structures anatomiques. La comparaison des scores entre les deux groupes permettait d'évaluer la capacité du simulateur à départager un novice d'un expert (validité de construction). Puis chaque sujet remplissait un questionnaire de satisfaction concernant le réalisme du simulateur (validité de surface) et son intérêt pédagogique (validité de contenu).

Résultats : 74 participants ont été inclus dans l'étude, 58 novices et 16 experts. Les experts avaient des scores significativement supérieurs ($Z=3,04$ $p < 0,01$), et étaient plus rapides ($Z=4,46$ $p < 0,01$) par rapport aux novices. Nous n'avons pas mis en évidence de différence entre les groupes concernant le nombre d'erreurs, et le volume d'os réséqué. 93,7% des sujets experts recommanderaient l'usage du simulateur pour l'apprentissage de l'anatomie et de la technique chirurgicale. 87,5% d'entre eux considèrent que le simulateur pourrait être intégré dans un programme de formation.

Conclusion : Le simulateur de réalité virtuelle Voxel Man® constitue un outil d'apprentissage intéressant en complément des méthodes traditionnelles d'apprentissage de la chirurgie otologique. Il permet d'acquérir une bonne visualisation de l'anatomie tridimensionnelle. Par sa capacité à distinguer les novices des experts, il pourrait constituer un outil de certification avant la chirurgie en conditions réelles

Construct, face, and content validation on Voxel-Man® simulator for otologic surgical training

THESE MEDECINE SPECIALISEE ANNEE 2015 – 2016

MOTS CLEFS : Simulateur de réalité virtuelle, apprentissage chirurgical, Os temporal, Chirurgie Otologique.

UNIVERSITE DE LORRAINE

Faculté de médecine de Nancy

9 Avenue de la forêt de Haye

54505 VANDOEUVRE LES NANCY CEDEX
