

UNIVERSITÉ TOULOUSE III – PAUL SABATIER
FACULTÉS DE MÉDECINE

ANNÉE 2022

2022 TOU3 1599

THÈSE

POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN MÉDECINE
MÉDECINE SPÉCIALISÉE CLINIQUE

Présentée et soutenue publiquement

par

Jérémy LIBERTO

le 21 Septembre 2022

COMPARAISON DE L'EFFICACITE ET DE LA SECURITE DES
SYSTEMES DE VISUALISATION CHIRURGICALE 3D NGENUITY™
ET ARTEVO 800™ EN CHIRURGIE VITREORETINIENNE AU SEIN
DU CHU DE TOULOUSE

Directeur de thèse : Pr Vincent SOLER

JURY

Monsieur le Professeur Pierre FOURNIE
Monsieur le Professeur Vincent SOLER
Madame le Docteur Fanny VARENNE
Monsieur le Docteur Pierre KANTOR
Monsieur le Docteur Clément ESCUDIER

Président
Assesseur
Assesseur
Assesseur
Suppléant



Remerciements

A mon Maître et Président du Jury,
Monsieur le Pr Pierre Fournié

Je vous remercie de l'honneur que vous m'accordez en acceptant de présider mon jury de thèse.

Votre aisance chirurgicale et médicale vous honore au plus haut point et je me sens privilégié d'avoir été un de vos élèves.

Un profond respect m'habite vous concernant, et soyez assuré de la reconnaissance que je vous porte.

A mon Maître et Directeur de thèse,
Monsieur le Pr Vincent Soler

Je suis honoré d'avoir pu conduire ce travail de thèse sur votre proposition dont le sujet, la microscopie 3D, vous me l'aviez dit, vous était cher.

Je vous remercie pour la confiance que vous m'avez témoigné en me confiant ce travail, ainsi que pour vos apports dans la précieuse relecture que vous avez faite de ce dernier.

Je retiendrai de mon passage dans vos rangs votre entier dévouement au service et à l'unité Rétine, votre rigueur et votre précision dans tous les aspects de la vie d'un service. Votre aisance chirurgicale inspire un profond respect et je suis fier de pouvoir continuer à me former à vos côtés.

A mon Maître,
Madame le Dr Fanny Varenne,

Je te remercie d'avoir accepté de faire partie de mon jury de thèse.

De mon passage dans le service, je garderai le souvenir d'une passionnée de l'ophtalmologie, empathique, et bienveillante, que ce soit avec ses patients ou ses internes. Je garderai également le souvenir d'une passion communicative, d'une volonté d'apprentissage marquée, d'une personnalité droite et juste.
Je suis heureux de pouvoir continuer à me former à tes côtés.

Sois assurée, Fanny, de mon entière reconnaissance et mon respect le plus profond.

A mon Maître,
Monsieur le Dr Pierre Kantor

Je te remercie d'avoir accepté de faire partie de mon jury de thèse.

Depuis mes premiers pas en ophtalmologie jusqu'à ma thèse, tu auras été un modèle et un ami très précieux pour moi.

Ton travail est la base plus qu'essentielle m'ayant aidée à mener ce travail de thèse, et en ce sens je t'assure de ma plus sincère reconnaissance.

Je te remercie tout particulièrement pour ton travail de relecture précieux, aide infiniment bienvenue dans la rédaction de ma thèse.

Je garderai de ma rencontre avec toi le souvenir de l'interne m'ayant accompagné dans mes premiers pas en ophtalmologie lors de mon premier semestre, celui d'une personne unanimement aimée par ses pairs et d'un chef compétent, disponible et attentif à la qualité de l'enseignement médical et chirurgical donné à ses internes.

Sois assuré de mon amitié et de mon respect les plus entiers.

A mon Maître,
Monsieur le Dr Clément Escudier

Je te remercie d'avoir accepté de faire partie de mon jury de thèse.

De co-interne à mes débuts en ophtalmologie à chef dans la dernière année écoulée, tu auras été un modèle et un ami précieux. Tes conseils et ton accompagnement tout au long de mon internat ont été les bienvenus. Je garderai le souvenir d'une personne bienveillante et disponible à l'égard de ses co-internes. Même si nos chemins ne se recroiseront probablement pas au CHU avant la fin de ton assistanat, j'espère te revoir prochainement et te souhaites tout le meilleur pour le futur, que ce soit dans la vie professionnelle ou personnelle.

A mon maître,
Madame le Dr Véronique Pagot-Mathis

J'ai eu l'honneur de vous cotoyer pendant ces quatre années d'internat et je suis fier d'avoir pu apprendre à vos côtés. Votre aisance chirurgicale est admirée par tous et force le respect.

Je vous souhaite une excellente continuation.

A mes grands parents Liberto, j'espère que mon parcours et mon travail vous empliront de fierté, perchés là-haut dans les étoiles.

A mon papa et ma maman, dont l'entier dévouement se reflète aujourd'hui dans l'homme et le médecin que je m'efforce de devenir. Aucune des lignes écrites dans ce travail de thèse n'existerait sans votre support et vos sacrifices pour me donner les conditions nécessaires à mon développement personnel. Soyez sûrs de l'éternelle dette qu'est la mienne.

A Sarah, ma petite soeur, je te remercie pour ta présence et ton soutien tout au long de ce parcours et je te souhaite l'épanouissement le plus complet dans cette vie. J'espère que ce travail et mon parcours serviront de modèle à Adam et Momo.

A Arnaud, mon petit frère, je te remercie pour ta présence et ton soutien tout au long de ce parcours. J'espère, à travers ce travail, te montrer que malgré les difficultés pouvant se présenter à toi, la persévérance et la confiance en toi t'aideront toujours à te dépasser afin d'atteindre tes objectifs.

A mes grand parents Dulion, grands parents aimants, modèles d'honnêteté et de probité. Que ce travail reflète l'éducation que vous m'avez transmise.

A tonton Antoine, tatie Cathy, Cyril, Marion, Roméo, Gabin, à tatie Nathalie, Laura et Lucas, à tonton Cédric, Delphine, Nattan, Eneko, Tom, j'espère à travers ce travail vous emplir de fierté.

A Alison, Barbara, Fabrice et les petites, Valérie, Tonton Serge, Sylvie, Tatie Françoise (framboise?), Tonton jojo, Jean-Michel, les cousins de Rodez, Amélie, et tous les autres :)

A mes Amis,

A mon ami d'enfance Adel, pour toutes ces après-midis passées sur la place de nos immeubles à Jurançon.

A Yann, ami de la première heure, en souvenir de toutes ces après midi et soirées passées à jouer chez toi, pour tous ces réveillons de l'an emplis de superbes souvenirs.

A tous les camarades et professeurs dont j'ai croisé le chemin au Lycée Militaire de Saint-Cyr.

A Thibaut, rencontré fortuitement dans une soirée d'inté puis devenu mon ami le plus précieux depuis. Que ce soit à la buvette du stade, au melting-pot, sur ta terrasse en train de déguster un petit rhum des familles, ou à Bordeaux pour des demi-finales au Matmut finalement passées au bar, ton amitié a été importante pour moi. Je suis fier de pouvoir participer à ta thèse et je n'émet aucun doute quant à ta capacité à devenir un cardiologue extraordinaire.

A Geoffrey, le Geotah, le « G » pour les intimes, dit également « la terreur des baletis », pour toutes ces soirées à discuter ciné et musique, pour les séjours à St-Cyr avec l'équipe, pour ton superbe déhanché, pour le rock tout simplement.

A Adrien, le tennisman au grand coeur, auteur de l'immense citation « show me both, play with it », l'homme solide de la bande.

A Gauthier, ami de longue date maintenant, oreille attentive, toujours disponible, un vrai gars bienveillant. A nos souvenirs de la P1, des soirées avec le Loic, l'inté en P2, nos matchs (défaites ?) de l'OM à l'appart, nos longues discussions.

A Lolo, de Saint-Amans, dit Pogaçar, pour tous nos souvenirs de la P1, nos soirées après les concours. Ton physique ultra-galbé est uniquement surpassé par ta bienveillance.

A Eric, pour ton humour toujours intellectuel, rarement beauf, pour ta finesse, pour ton élégance.

A Lélé, dit Thomas Charabas, pour ta passion communicative du Rugby, pour ta sympathie et pour ton abonnement Canal. Je te souhaite de superbes choses dans ta nouvelle maison avec popo :)

A Erwan, le skieur-surfer-photoshopper de la team, un physique d'Apollon, un humour décapant, autant de défauts dans sa personnalité que dans ses montages vidéos. Ton saut du haut du pont du diable restera gravé en moi à tout jamais. @kekous sur insta.

A Lams, LE Lams, je sais même pas par où commencer. Tes conseils ultrapointus, ton hygiène de vie qui force le respect, cette espèce de charisme presque animal,... Tes atouts se comptent comme les Fast and Furious et les M...

A Thomas, mon voisin à Billère, le pousseur de fonte, pour tous ces souvenirs de week end passés ensemble, devant la console, à écouter de la musique :)

A Bastien, le père de famille, le papa, en souvenir de nos vacances à st-Cyr, dans la tente (?), Côme a beaucoup de chance d'avoir un papa aussi bienveillant. Je te souhaite le meilleur pour le futur :)

A NathanE, l'homme de Saint-Sever :)

A Hélène double B, rencontrée à Castres, pour ton humour et ta réceptivité à mon humour. Ce semestre n'aurait pas été le même sans toutes nos discussions, sans tes montages photos, et sans toutes ces césariennes.

A Inès, Pauline P, Océane, Pauline V,

A tous les internes rencontrés à Tarbes et Castres, je ne vous oublierai pas :)

A mes co-internes et chefs,

A

Giz,

Vanessa, Félix, Alex, Saleeeeh, Biba, Camille la DJ, Valérie, Amélie, Kevin le tarbais, Sara Ouardani, Badre, Thomas SDG et ses cours pendant mon premier semestre,

Edouard, Gaby (l'homme qui ne s'énervait jamais), Pauline, Lauriane, Antoine la miche,

Orianna, JPL (le taulard), Jérémy (et ses patients imaginaires sur softalmo, monsieur Troude ^^), P-A, Tibaut, Ayria, Alix.

A Inès, pour toutes nos conversations ciné, j'espère te revoir à Paris cet hiver !, A Héloïse, Camille de Narbonne, et Gabrielle :)

A Thibault, mon binôme de la première heure, l'homme aux bons conseils et au tempérament calme. Les valeurs de bienveillance, d'humilité et de respect que sont les tiennes sont unanimement appréciées autour de toi et font de toi un ami unique à mes yeux.

A FP, collègue et ami depuis maintenant dix ans, que notre amitié puisse perdurer plusieurs années encore. Je serai heureux de pouvoir continuer à travailler à tes côtés en rétine.

A Noémie, même si nous n'avons au final partagé que peu de semestres ensemble pendant ces quatre années, je suis très heureux d'avoir fait ta connaissance pendant mon parcours et te souhaites le meilleur pour le futur.

A Julie, dont la motivation à toute épreuve et la qualité de travail forcent le respect.

A Raph Adam, dit le belge, pour tes imitations de madame Lab... ton positivisme infailible, et tes playlists Spotify,

A Nada, je retiendrais ta gentillesse et ton sérieux dans le travail, depuis ton premier semestre où on était ensemble en cornée :)

A Lisa et Chloé, pour votre bonne humeur et votre caractère volontaire dans les stages où je vous ai cotoyé.

A Rémi, pour nos conversations NFL.

A Lucien, Lulu, le vapoteur de l'extrême

A Yasmine, la plus douce et gentille personnalité qui soit,

A PH, Cazarééé, dans son sang coule du bandol, le conducteur de mini, j'espère qu'on continuera longtemps à discuter montres et voitures :)

A Andris, dit le Mulet, difficile de passer derrière lui à Castres ^^

A Noria MOUTCHO, l'amie des chiens de laboratoires, en espérant qu'elle puisse enfin quitter un jour la cornée.

A Romain (Roro, A.K.A Jul), un gars vrai, avec beaucoup de goût (si on excepte le pastis), une amitié sincère, un grand bonhomme.

A BB Brune (Bruno) et sa personnalité attachante

A Raphou Costes, petit ange parti trop tôt, pourtant fort sympathique.

A Geoffrey, le golden Boy, la jeunesse dorée.

A Jeanne, que je connais peu. Je serai heureux de te cotoyer pendant quelques semestres futurs.

A l'ensemble de l'équipe paramédicale et des orthoptistes du service, aux ibodes, Steffie, Flo, entre autres !

A Aurélie et nos journées IVT

A Muriel, que ta bonne humeur revienne rapidement dans le service :)

A Martine, cadre du bloc, pour son dévouement et sa sympathie.

A toute l'équipe du service d'ophtalmologie du CH de Tarbes, et plus particulièrement au Dr Jaulerry pour sa bienveillance.

Au Dr Yazbeck ainsi qu'à Fabienne, Marylène, Anne, Claire, Alexia, Chrystelle, la dream team du CH de Castres !

A toutes les personnes que j'ai pu rencontrer pendant mon semestre en diabétologie, particulièrement Isa et nos pauses cafés au rétinio.

Serment d'Hippocrate

«Au moment d'être admis(e) 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.

Admis(e) dans l'intimité des personnes, je tairai les secrets qui me seront confiés. Reçu(e) 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 déshonoré(e) et méprisé(e) si j'y manque

FACULTE DE SANTE
Département Médecine Maieutique et Paramédicaux
Tableau des personnels HU de médecine
Mars 2022

Professeurs Honoraires

Doyen Honoraire	M. CHAP Huques	Professeur Honoraire	M. GHISOLFI Jacques
Doyen Honoraire	M. GUIRAUD-CHAUMEIL Bernard	Professeur Honoraire	M. GLOCK Yves
Doyen Honoraire	M. LAZORTES Yves	Professeur Honoraire	M. GOUZI Jean-Louis
Doyen Honoraire	M. PUEL Pierre	Professeur Honoraire	M. GRAND Alain
Doyen Honoraire	M. ROUGE Daniel	Professeur Honoraire	M. GUIRAUD CHAUMEIL Bernard
Doyen Honoraire	M. VINEL Jean-Pierre	Professeur Honoraire	M. HOFF Jean
Professeur Honoraire	M. ABBAL Michel	Professeur Honoraire	M. JOFFRE Francis
Professeur Honoraire	M. ADER Jean-Louis	Professeur Honoraire	M. LAGARRIGUE Jacques
Professeur Honoraire	M. ADOUE Daniel	Professeur Honoraire	M. LANG Thierry
Professeur Honoraire	M. ARBUS Louis	Professeur Honoraire	Mme LARENG Marie-Blanche
Professeur Honoraire	M. ARLET Philippe	Professeur Honoraire	M. LAURENT Guy
Professeur Honoraire	M. ARLET-SUAU Elisabeth	Professeur Honoraire	M. LAZORTES Franck
Professeur Honoraire	M. ARNE Jean-Louis	Professeur Honoraire	M. LAZORTES Yves
Professeur Honoraire	M. BARRET André	Professeur Honoraire	M. LEOPHONTE Paul
Professeur Honoraire	M. BARTHE Philippe	Professeur Honoraire	M. MAGNAVAL Jean-François
Professeur Honoraire	M. BAYARD Francis	Professeur Honoraire	M. MALECAZE François
Professeur Honoraire	M. BLANCHER Antoine	Professeur Honoraire	M. MANELFE Claude
Professeur Honoraire	M. BOCCALON Henri	Professeur Honoraire	M. MANSAT Michel
Professeur Honoraire	M. BONAFE Jean-Louis	Professeur Honoraire	M. MARCHOU Bruno
Professeur Honoraire	M. BONEU Bernard	Professeur Honoraire	M. MASSIP Patrice
Professeur Honoraire	M. BONNEVIALLE Paul	Professeur Honoraire	Mme MARTY Nicole
Professeur Honoraire	M. BOUNHOURE Jean-Paul	Professeur Honoraire	M. MAZIERES Bernard
Professeur Honoraire	M. BOUTAULT Franck	Professeur Honoraire	M. MONROZIES Xavier
Professeur Honoraire Associé	M. BROS Bernard	Professeur Honoraire	M. MOSCOVICI Jacques
Professeur Honoraire	M. BUGAT Roland	Professeur Honoraire associé	M. MURAT
Professeur Honoraire	M. CAHUZAC Jean-Philippe	Professeur Honoraire	M. NICODEME Robert
Professeur Honoraire	M. CARATERO Claude	Professeur Honoraire	M. OLIVES Jean-Pierre
Professeur Honoraire	M. CARLES Pierre	Professeur Honoraire	M. PARINAUD Jean
Professeur Honoraire	M. CARON Philippe	Professeur Honoraire	M. PASCAL Jean-Pierre
Professeur Honoraire	M. CARRIERE Jean-Paul	Professeur Honoraire	M. PERRET Bertrand
Professeur Honoraire	M. CARTON Michel	Professeur Honoraire	M. PESSEY Jean-Jacques
Professeur Honoraire	M. CATHALA Bernard	Professeur Honoraire	M. PLANTE Pierre
Professeur Honoraire	M. CHABANON Gérard	Professeur Honoraire	M. PONTONNIER Georges
Professeur Honoraire	M. CHAMONTIN Bernard	Professeur Honoraire	M. POURRAT Jacques
Professeur Honoraire	M. CHAP Huques	Professeur Honoraire	M. PRADERE Bernard
Professeur Honoraire	M. CHAVOIN Jean-Pierre	Professeur Honoraire	M. PRIS Jacques
Professeur Honoraire	M. CLANET Michel	Professeur Honoraire	Mme PUEL Jacqueline
Professeur Honoraire	M. CONTE Jean	Professeur Honoraire	M. PUEL Pierre
Professeur Honoraire	M. COSTAGLIOLA Michel	Professeur Honoraire	M. PUJOL Michel
Professeur Honoraire	M. COTONAT Jean	Professeur Honoraire	M. QUERLEU Denis
Professeur Honoraire	M. DABERNAT Henri	Professeur Honoraire	M. RAILHAC Jean-Jacques
Professeur Honoraire	M. DAHAN Marcel	Professeur Honoraire	M. REGIS Henri
Professeur Honoraire	M. DALOUS Antoine	Professeur Honoraire	M. REGNIER Claude
Professeur Honoraire	M. DALY-SCHVEITZER Nicolas	Professeur Honoraire	M. REME Jean-Michel
Professeur Honoraire	M. DAVID Jean-Frédéric	Professeur Honoraire	M. RISCHMANN Pascal
Professeur Honoraire	M. DELSOL Georges	Professeur Honoraire	M. RIVIERE Daniel
Professeur Honoraire	Mme DELISLE Marie-Bernadette	Professeur Honoraire	M. ROCHE Henri
Professeur Honoraire	Mme DIDIER Jacqueline	Professeur Honoraire	M. ROCHICCIOLI Pierre
Professeur Honoraire	M. DUCOS Jean	Professeur Honoraire	M. ROLLAND Michel
Professeur Honoraire	M. DUFFAUT Michel	Professeur Honoraire	M. ROQUES-LATRILLE Christian
Professeur Honoraire	M. DUPRE M.	Professeur Honoraire	M. RUMEAU Jean-Louis
Professeur Honoraire	M. DURAND Dominique	Professeur Honoraire	M. SALVADOR Michel
Professeur Honoraire associé	M. DUTAU Guy	Professeur Honoraire	M. SALVAYRE Robert
Professeur Honoraire	M. ESCHAPASSE Henri	Professeur Honoraire	M. SARRAMON Jean-Pierre
Professeur Honoraire	M. ESCOURROU Jean	Professeur Honoraire	M. SERRE Guy
Professeur Honoraire	M. ESQUERRE J.P.	Professeur Honoraire	M. SIMON Jacques
Professeur Honoraire	M. FABIÉ Michel	Professeur Honoraire	M. SUC Jean-Michel
Professeur Honoraire	M. FABRE Jean	Professeur Honoraire	M. THOUVENOT Jean-Paul
Professeur Honoraire	M. FOURNIAL Gérard	Professeur Honoraire	M. TREMOULET Michel
Professeur Honoraire	M. FOURNIE Bernard	Professeur Honoraire	M. VALDIGUIE Pierre
Professeur Honoraire	M. FOURTANIER Gilles	Professeur Honoraire	M. VAYSSE Philippe
Professeur Honoraire	M. FRAYSSE Bernard	Professeur Honoraire	M. VINEL Jean-Pierre
Professeur Honoraire	M. FREXINOS Jacques	Professeur Honoraire	M. VIRENQUE Christian
Professeur Honoraire	Mme GENESTAL Michèle	Professeur Honoraire	M. VOIGT Jean-Jacques
Professeur Honoraire	M. GERAUD Gilles		

Professeurs Emérites

Professeur ARLET Philippe
Professeur BOUTAULT Franck
Professeur CARON Philippe
Professeur CHAMONTIN Bernard
Professeur CHAP Huques
Professeur GRAND Alain
Professeur LAGARRIGUE Jacques
Professeur LAURENT Guy
Professeur LAZORTES Yves
Professeur MAGNAVAL Jean-François
Professeur MARCHOU Bruno
Professeur PERRET Bertrand
Professeur RISCHMANN Pascal
Professeur RIVIERE Daniel
Professeur ROUGE Daniel

FACULTE DE SANTE
Département Médecine Maieutique et Paramédicaux

P.U. - P.H.
Classe Exceptionnelle et 1ère classe

M. ACAR Philippe	Pédiatrie	Mme LAMANT Laurence (C.E)	Anatomie Pathologique
M. ACCADBLED Franck (C.E)	Chirurgie Infantile	M. LANGIN Dominique (C.E)	Nutrition
M. ALRIC Laurent (C.E)	Médecine Interne	Mme LAPRIE Anne	Radiothérapie
M. AMAR Jacques	Thérapeutique	M. LARRUE Vincent	Neurologie
Mme ANDRIEU Sandrine	Epidémiologie, Santé publique	M. LAUQUE Dominique (C.E)	Médecine d'Urgence
M. ARBUS Christophe	Psychiatrie	M. LAUWERS Frédéric	Chirurgie maxillo-faciale
M. ARNAL Jean-François (C.E)	Physiologie	M. LEOBON Bertrand	Chirurgie Thoracique et Cardio-vasculaire
M. ATTAL Michel (C.E)	Hématologie	M. LEVADE Thierry (C.E)	Biochimie
M. AVET-LOISEAU Hervé	Hématologie, transfusion	M. LIBLAU Roland (C.E)	Immunologie
M. BERRY Antoine	Parasitologie	M. MALAVAUD Bernard	Urologie
Mme BERRY Isabelle (C.E)	Biophysique	M. MANSAT Pierre	Chirurgie Orthopédique
M. BIRMES Philippe	Psychiatrie	M. MARQUE Philippe (C.E)	Médecine Physique et Réadaptation
M. BONNEVILLE Fabrice	Radiologie	M. MAS Emmanuel	Pédiatrie
M. BOSSAVY Jean-Pierre (C.E)	Chirurgie Vasculaire	M. MAURY Jean-Philippe (C.E)	Cardiologie
M. BRASSAT David	Neurologie	Mme MAZEREUW Juliette	Dermatologie
M. BROUCHET Laurent	Chirurgie thoracique et cardio-vascul	M. MAZIERES Julien (C.E)	Pneumologie
M. BROUSSET Pierre (C.E)	Anatomie pathologique	M. MINVILLE Vincent	Anesthésiologie Réanimation
M. BUJAN Louis (C. E)	Urologie-Andrologie	M. MOLINIER Laurent (C.E)	Epidémiologie, Santé Publique
Mme BURA-RIVIERE Alessandra (C.E)	Médecine Vasculaire	M. MONTASTRUC Jean-Louis (C.E)	Pharmacologie
M. BUREAU Christophe	Hépatogastro-Entérologie	Mme MOYAL Elisabeth (C.E)	Cancérologie
M. BUSCAIL Louis (C.E)	Hépatogastro-Entérologie	M. MUSCARI Fabrice	Chirurgie Digestive
M. CALVAS Patrick (C.E)	Génétiq	Mme NOURHASHEMI Fatemeh (C.E)	Gériatrie
M. CANTAGREL Alain (C.E)	Rhumatologie	M. OLIVOT Jean-Marc	Neurologie
M. CARRERE Nicolas	Chirurgie Générale	M. OSWALD Eric (C.E)	Bactériologie-Virologie
M. CARRIE Didier (C.E)	Cardiologie	M. PARIENTE Jérémie	Neurologie
M. CHAIX Yves	Pédiatrie	M. PAUL Carle (C.E)	Dermatologie
Mme CHARPENTIER Sandrine	Médecine d'urgence	M. PAYOUX Pierre (C.E)	Biophysique
M. CHAUFOUR Xavier	Chirurgie Vasculaire	M. PAYRASTRE Bernard (C.E)	Hématologie
M. CHAUVEAU Dominique	Néphrologie	M. PERON Jean-Marie (C.E)	Hépatogastro-Entérologie
M. CHAYNES Patrick	Anatomie	M. RASCOL Olivier (C.E)	Pharmacologie
M. CHIRON Philippe (C.E)	Chir. Orthopédique et Traumatologie	Mme RAUZY Odile	Médecine Interne
M. CHOLLET François (C.E)	Neurologie	M. RAYNAUD Jean-Philippe (C.E)	Psychiatrie Infantile
M. CONSTANTIN Arnaud	Rhumatologie	M. RECHER Christian (C.E)	Hématologie
M. COURBON Frédéric	Biophysique	M. RITZ Patrick (C.E)	Nutrition
Mme COURTADE SAIDI Monique (C.E)	Histologie Embryologie	M. ROLLAND Yves (C.E)	Gériatrie
M. DAMBRIN Camille	Chir. Thoracique et Cardiovasculaire	M. RONCALLI Jérôme	Cardiologie
M. DE BOISSEZON Xavier	Médecine Physique et Réadapt Fonct.	M. ROUGE Daniel (C.E)	Médecine Légale
M. DEGUINE Olivier (C.E)	Oto-rhino-laryngologie	M. ROUSSEAU Hervé (C.E)	Radiologie
M. DELABESSE Eric	Hématologie	M. ROUX Franck-Emmanuel	Neurochirurgie
M. DELOBEL Pierre	Maladies Infectieuses	M. SAILLER Laurent (C.E)	Médecine Interne
M. DELORD Jean-Pierre (C.E)	Cancérologie	M. SALES DE GAUZY Jérôme (C.E)	Chirurgie Infantile
M. DIDIER Alain (C.E)	Pneumologie	M. SALLES Jean-Pierre (C.E)	Pédiatrie
M. DUCOMMUN Bernard	Cancérologie	M. SANS Nicolas	Radiologie
Mme DULY-BOUHANICK Béatrice (C.E)	Thérapeutique	M. SCHMITT Laurent (C.E)	Psychiatrie
M. ELBAZ Meyer	Cardiologie	Mme SELVES Janick (C.E)	Anatomie et cytologie pathologiques
M. FERRIERES Jean (C.E)	Epidémiologie, Santé Publique	M. SENARD Jean-Michel (C.E)	Pharmacologie
M. FOURCADE Olivier	Anesthésiologie	M. SERRANO Elle (C.E)	Oto-rhino-laryngologie
M. FOURNIÉ Pierre	Ophthalmologie	M. SIZUN Jacques (C.E)	Pédiatrie
M. GALINIER Michel (C.E)	Cardiologie	M. SOL Jean-Christophe	Neurochirurgie
M. GAME Xavier	Urologie	Mme SOTO-MARTIN Maria-Eugénia	Gériatrie et biologie du vieillissement
Mme GARDETTE Virginie	Epidémiologie, Santé publique	M. SOULAT Jean-Marc	Médecine du Travail
M. GEERAERTS Thomas	Anesthésiologie et réanimation	M. SOULIE Michel (C.E)	Urologie
Mme GOMEZ-BROUCHET Anne-Muriel	Anatomie Pathologique	M. SUC Bertrand	Chirurgie Digestive
M. GOURDY Pierre (C.E)	Endocrinologie	Mme TAUBER Marie-Thérèse (C.E)	Pédiatrie
M. GROLLEAU RAOUX Jean-Louis (C.E)	Chirurgie plastique	M. TELMON Norbert (C.E)	Médecine Légale
Mme GUIMBAUD Rosine	Cancérologie	Mme TREMOLLIERES Florence	Biologie du développement
Mme HANAIRE Hélène (C.E)	Endocrinologie	Mme URO-COSTE Emmanuelle (C.E)	Anatomie Pathologique
M. HUYGHE Eric	Urologie	M. VAYSSIERE Christophe (C.E)	Gynécologie Obstétrique
M. IZOPET Jacques (C.E)	Bactériologie-Virologie	M. VELLAS Bruno (C.E)	Gériatrie
M. KAMAR Nassim (C.E)	Néphrologie	M. VERGEZ Sébastien	Oto-rhino-laryngologie

P.U. Médecine générale
M. OUSTRIC Stéphane (C.E)

FACULTE DE SANTE
Département Médecine Maieutique et Paramédicaux

P.U. - P.H.
2ème classe

M. ABBO Olivier	Chirurgie infantile
M. AUSSEIL Jérôme	Biochimie et biologie moléculaire
Mme BONGARD Vanina	Epidémiologie, Santé publique
M. BONNEVIALLE Nicolas	Chirurgie orthopédique et traumatologique
M. BOUNES Vincent	Médecine d'urgence
Mme BOURNET Barbara	Gastro-entérologie
Mme CASPER Charlotte	Pédiatrie
M. CAVAINAC Etienne	Chirurgie orthopédique et traumatologie
M. CHAPUT Benoit	Chirurgie plastique
M. COGNARD Christophe	Radiologie
Mme CORRE Jill	Hématologie
Mme DALENC Florence	Cancérologie
M. DE BONNECAZE Guillaume	Anatomie
M. DECRAMER Stéphane	Pédiatrie
M. EDOUARD Thomas	Pédiatrie
M. FAGUER Stanislas	Néphrologie
Mme FARUCH BILFELD Marie	Radiologie et imagerie médicale
M. FRANCHITTO Nicolas	Addictologie
M. GARRIDO-STÓWHAS Ignacio	Chirurgie Plastique
M. GUIBERT Nicolas	Pneumologie
M. GUILLEMINAULT Laurent	Pneumologie
M. HERIN Fabrice	Médecine et santé au travail
M. LAIREZ Olivier	Biophysique et médecine nucléaire
M. LAROCHE Michel	Rhumatologie
Mme LAURENT Camille	Anatomie Pathologique
M. LE CAIGNEC Cédric	Génétique
M. LEANDRI Roger	Biologie du dével. et de la reproduction
M. LOPEZ Raphael	Anatomie
M. MARCHEIX Bertrand	Chirurgie thoracique et cardiovasculaire
M. MARTIN-BONDEL Guillaume	Maladies infectieuses, maladies tropicales
Mme MARTINEZ Alejandra	Gynécologie
M. MARX Mathieu	Oto-rhino-laryngologie
M. MEYER Nicolas	Dermatologie
M. PAGES Jean-Christophe	Biologie cellulaire
Mme PASQUET Marlène	Pédiatrie
M. PORTIER Guillaume	Chirurgie Digestive
M. PUGNET Grégory	Médecine interne
M. REINA Nicolas	Chirurgie orthopédique et traumatologique
M. RENAUDINEAU Yves	Immunologie
Mme RUYSSSEN-WITRAND Adeline	Rhumatologie
Mme SAVAGNER Frédérique	Biochimie et biologie moléculaire
M. SAVALL Frédéric	Médecine légale
M. SILVA SIFONTES Stein	Réanimation
M. SOLER Vincent	Ophthalmologie
Mme SOMMET Agnès	Pharmacologie
M. TACK Ivan	Physiologie
Mme VAYSSE Charlotte	Cancérologie
Mme VEZZOSI Delphine	Endocrinologie
M. YRONDI Antoine	Psychiatrie
M. YSEBAERT Loic	Hématologie

P.U. Médecine générale
M. MESTHÉ Pierre
Mme ROUGE-BUGAT Marie-Eve

Professeurs Associés

Professeur Associé de Médecine Générale

M. ABITTEBOUL Yves
Mme BOURGEOIS Odile
M. BOYER Pierre
M. CHICOULAA Bruno
Mme IRI-DELAHAYE Motoko
M. PIPONNIER David
M. POUTRAIN Jean-Christophe
M. STILLMUNKES André

Professeur Associé de Bactériologie-Hygiène

Mme MALAUAUD Sandra

FACULTE DE SANTE
Département Médecine Maieutique et Paramédicaux

MCU - PH

Mme ABRAVANEL Florence	Bactériologie Virologie Hygiène	Mme GENNERO Isabelle	Biochimie
M. APOIL Pol Andre	Immunologie	Mme GENOUX Annelise	Biochimie et biologie moléculaire
Mme ARNAUD Catherine	Epidémiologie	Mme GRARE Marion	Bactériologie Virologie Hygiène
Mme AUSSEIL-TRUDEL Stéphanie	Biochimie	M. GUERBY Paul	Gynécologie-Obstétrique
Mme BASSET Céline	Cytologie et histologie	Mme GUILBEAU-FRUGIER Céline	Anatomie Pathologique
Mme BELLIERES-FABRE Julie	Néphrologie	Mme GUYONNET Sophie	Nutrition
Mme BERTOLI Sarah	Hématologie, transfusion	M. HAMDJ Safouane	Biochimie
M. BIETH Eric	Génétique	Mme HITZEL Anne	Biophysique
Mme BREHIN Camille	Pneumologie	Mme INGUENEAU Cécile	Biochimie
M. BUSCAIL Etienne	Chirurgie viscérale et digestive	M. IRIART Xavier	Parasitologie et mycologie
Mme CAMARE Caroline	Biochimie et biologie moléculaire	Mme JONCA Nathalie	Biologie cellulaire
M. CAMBUS Jean-Pierre	Hématologie	M. KIRZIN Sylvain	Chirurgie générale
Mme CANTERO Anne-Valérie	Biochimie	Mme LAPEYRE-MESTRE Marysé	Pharmacologie
Mme CARFAGNA Luana	Pédiatrie	M. LEPAGE Benoit	Biostatistiques et Informatique médicale
Mme CASPAR BAUGUIL Sylvie	Nutrition	M. LHERMUSIER Thibault	Cardiologie
Mme CASSAGNE Myriam	Ophthalmologie	M. LHOMME Sébastien	Bactériologie-virologie
Mme CASSAING Sophie	Parasitologie	Mme MASSIP Clémence	Bactériologie-virologie
Mme CASSOL Emmanuelle	Biophysique	Mme MAUPAS SCHWALM Françoise	Biochimie
Mme CHANTALAT Elodie	Anatomie	Mme MONTASTIER Emilie	Nutrition
M. CHASSAING Nicolas	Génétique	M. MONTASTRUC François	Pharmacologie
M. CLAVEL Cyril	Biologie Cellulaire	Mme MOREAU Jessika	Biologie du dév. Et de la reproduction
Mme COLOMBAT Magali	Anatomie et cytologie pathologiques	Mme MOREAU Marion	Physiologie
M. CONGY Nicolas	Immunologie	M. MOULIS Guillaume	Médecine interne
Mme COURBON Christine	Pharmacologie	Mme NASR Nathalie	Neurologie
M. CUROT Jonathan	Neurologie	Mme NOGUEIRA M.L.	Biologie Cellulaire
Mme DAMASE Christine	Pharmacologie	Mme PERROT Aurore	Hématologie
Mme DE GLISEZENSKY Isabelle	Physiologie	M. PILLARD Fabien	Physiologie
M. DEDOUIT Fabrice	Médecine Légale	Mme PLAISANCIE Julie	Génétique
M. DEGBOE Yannick	Rhumatologie	Mme PUISSANT Bénédicte	Immunologie
M. DELMAS Clément	Cardiologie	Mme QUELVEN Isabelle	Biophysique et médecine nucléaire
M. DELPLA Pierre-André	Médecine Légale	Mme RAYMOND Stéphanie	Bactériologie Virologie Hygiène
M. DESPAS Fabien	Pharmacologie	M. REVET Alexis	Pédo-psychiatrie
M. DUBOIS Damien	Bactériologie Virologie Hygiène	M. RIMAILHO Jacques	Anatomie et Chirurgie Générale
Mme ESQUIROL Yolande	Médecine du travail	Mme SABOURDY Frédérique	Biochimie
Mme EVRARD Solène	Histologie, embryologie et cytologie	Mme SAUNE Karine	Bactériologie Virologie
Mme FILLAUX Judith	Parasitologie	Mme SIEGFRIED Aurore	Anatomie et cytologie pathologiques
Mme FLOCH Pauline	Bactériologie-Virologie	M. TAFANI Jean-André	Biophysique
Mme GALINIER Anne	Nutrition	M. TREINER Emmanuel	Immunologie
Mme GALLINI Adeline	Epidémiologie	Mme VALLET Marion	Physiologie
M. GANTET Pierre	Biophysique	M. VERGEZ François	Hématologie
M. GASQ David	Physiologie	Mme VIJA Lavinia	Biophysique et médecine nucléaire
M. GATIMEL Nicolas	Médecine de la reproduction		

M.C.U. Médecine générale

M. BISMUTH Michel
M. BRILLAC Thierry
Mme DUPOUY Julie
M. ESCOURROU Emile

Maîtres de Conférence Associés

M.C.A. Médecine Générale

M. BIREBENT Jordan
Mme BOUSSIER Nathalie
Mme FREYENS Anne
Mme LATROUS Leila
Mme PUECH Marielle

Table des matières

Remerciements.....	3
Serment d’Hippocrate.....	11
Abréviations.....	17

I- Introduction

A) Description et historique des systèmes de visualisation 3D.....	18
B) Apport des systèmes de visualisation 3D et évaluation dans la chirurgie vitréorétinienne....	19
1- Troubles musculo-squelettiques en chirurgie ophtalmologique : épidémiologie et aspects cliniques.....	19
2- Evaluation des systèmes 3D en chirurgie vitréorétinienne.....	22
C) Objectifs de l’étude.....	23

II- Matériel et Méthodes

A) Description de l’étude.....	24
B) Population.....	24
C) Critères d’inclusion et d’exclusion.....	25
D) Recueil de données.....	25
E) Description des systèmes de visualisation 3D utilisés.....	26
F) Description des interventions chirurgicales performedes.....	30
G) Critères de jugement.....	31
H) Analyse statistique.....	32

III- Résultats

A) Analyse démographique générale.....	33
B) Analyse statistique comparative des techniques chirurgicales employées.....	35
C) Analyse des caractéristiques anatomo-cliniques préopératoires des interventions chirurgicales étudiées.....	38
D) Analyse statistique sur les critères de jugements principaux et secondaires.....	42

IV- Discussion

A) Sur les résultats de l’étude.....	46
B) Retour d’expérience du chirurgien dans notre service sur l’utilisation des deux dispositifs...48	
1- Profondeur de champ.....	49
2- Endo-illumination.....	49
3- Latence.....	50
4- Ergonomie.....	51
5- Filtres numériques.....	52
6- Aspects pratiques .	52
7- Enseignement, communication, apprentissage	53
C) Limites de l’étude.....	54
D) Perspectives futures et avancées technologiques.....	56
E) Apport de l’OCT peropératoire (iOCT) en chirurgie vitréorétinienne.....	58

V- Conclusion

VI- Abstract

Abréviations

3DZ : groupe opéré à l'aide du système 3D Artevo 800 TM

3DN : groupe opéré à l'aide du système 3D Ngenuity TM

3D : trois dimensions

4K : Résolution supérieure à 4000 pixels

CHU : Centre Hospitalier Universitaire

DR : Décollement de Rétine

HD : Haute-Définition

HIV : Hémorragie Intra-Vitréenne

MAVC : Meilleure Acuité Visuelle Corrigée

MER : Membrane EpiRétinienne maculaire

MLI : Membrane Limitante Interne

PFCL : PerFluoroCarbones Liquides

PVR : Prolifération VitreoRétinienne

TM : Trou Maculaire

UHD : Ultra Haute-Définition

Tableaux et figures

Tableau 1 : caractéristiques techniques des systèmes 3D utilisés

Tableau 2 : analyse démographique de la population étudiée

Tableau 3 : analyse comparative des techniques chirurgicales employées

Tableau 4 : analyse des caractéristiques préopératoires des interventions chirurgicales étudiées

Tableau 5 : analyse des résultats anatomiques et fonctionnels

Figure 1 : comparaison des postures adoptées au bloc opératoire

Figure 2 : l'iOCT, aide à la décision chirurgicale

Figure 3 : configuration des deux systèmes 3D au bloc opératoire

Figures 4 et 5 : utilisation du microscope Clarity TM

I- Introduction

A) Description et historique des systèmes de visualisation 3D

Le premier microscope opératoire intégrant un système de visualisation tridimensionnel était le Truevision™ 3D Visualization System (Leica Microsystems, Wetzlar, Germany), introduit sur le marché en 2008. Le 15 Mars 2014, Claus Eckardt a introduit la microscopie 3D dans l'univers de la chirurgie vitréorétinienne au congrès annuel de rétine de Francfort [1].

Trois composants principaux s'articulent au sein des dispositifs de visualisation chirurgicale 3D. Deux caméras 3D sont intégrées sur le microscope à la place ou en addition aux oculaires. Ces caméras sont composées de capteurs haute-définition (HD), ultra haute-définition (UHD), voire 4K afin d'acquérir des images de qualité optimale.

Ensuite, une unité centrale intègre les images captées puis les projette via un écran 3D de grandes dimensions et de haute résolution qui complète le dispositif [2].

Deux types de systèmes de visualisation 3D existent, les systèmes passifs et actifs [2] :

- Dans les systèmes passifs, deux images acquises séparément par deux caméras sont fusionnées horizontalement puis séparées passivement par des lunettes 3D portées par l'utilisateur.
- Dans les systèmes actifs, l'image 3D est obtenue par la projection à haute vitesse et en alternance d'images devant l'œil droit et l'œil gauche. Une paire de lunettes électroniques supprime ensuite activement l'image de l'œil sur lequel l'image n'est pas projetée.

Actuellement, trois principaux systèmes passifs ont été développés et sont disponibles sur le marché : les systèmes TrueVision 3D™ (Leica, Wetzlar, Germany), Ngenuity™ (Alcon, Hunenberg, Swiss) et Artevo 800™ (Zeiss, Oberkochen, Germany). Un seul système actif existe à ce jour : le Beyonics One™ (Beyonics, Haifa, Israël).

Les systèmes de visualisation 3D justifient leur emploi par des améliorations dans les domaines de l'ergonomie [3,4], de la profondeur de champ [5,6], de la prévention de la phototoxicité par

l'emploi de niveaux d'endo-illumination bas [4,6,7], et de l'enseignement [4,5], tout en présentant une courbe d'apprentissage faible [8].

B) Apport ergonomiques des systèmes de visualisation chirurgicale 3D et évaluation dans la chirurgie vitréorétinienne

1- Troubles musculosquelettiques en chirurgie ophtalmologique: épidémiologie et aspects cliniques

L'usage d'un microscope binoculaire est associé à la survenue de complications musculosquelettiques (ou MSDs pour MusculoSkeletal Disorders) chez le chirurgien, principalement dans les portions anatomiques cervicales et dorso-lombaires [3,5,9,10].

En effet, les ophtalmologistes sont soumis à des tâches répétitives et des postures de travail parfois contraignantes et peu physiologiques, pouvant être prolongées et à l'origine de douleurs aiguës et chroniques [11].

Dhimitri et al. ont publiés en 2005 les résultats d'une étude qui s'est proposée d'évaluer sous la forme d'un sondage les troubles musculosquelettiques dont souffrent les chirurgiens ophtalmologistes [9].

Sur les 697 ophtalmologistes ayant participé au sondage, la prévalence des troubles musculosquelettiques rapportés était de 51,8 %. Les lombalgies étaient les symptômes les plus rapportés (39%), suivies par les douleurs des extrémités supérieures (32,9%) et les douleurs cervicales (32,6%).

Le sexe féminin ainsi qu'un taux élevé de stress étaient statistiquement associés à une élévation de la prévalence des douleurs cervicales et des extrémités supérieures, alors qu'un taux élevé de stress et le fait de pratiquer plus de six chirurgies par semaine étaient associés à une élévation de la prévalence des lombalgies.

Hyer et Al., en 2015, ont interrogé 518 ophtalmologistes en Grande-Bretagne [10]. Dans cette étude, 50,6% de ces derniers rapportaient des douleurs dorso-lombaires, et 31,8 % des douleurs cervicales. De même, 33,6% des praticiens interrogés rapportaient des douleurs pendant leurs interventions chirurgicales dont 78,7 % signalaient que la position chirurgicale exacerbait ces douleurs. La prévalence de ces douleurs chez les ophtalmologistes questionnés était plus importante que leur prévalence dans la population générale.

La chirurgie vitréorétinienne est particulièrement à risque de complications musculosquelettiques, de par la nécessité de modifier régulièrement le focus, et donc la position des oculaires, induisant des contraintes cervicales répétées [5,12].

Bin Helayel et al., dans une étude publiée en 2021, se sont donnés comme objectifs, par le biais d'un questionnaire interrogeant les participants, incluant des ophtalmologistes seniors confirmés (57%), des assistants (29%) et des internes (23%), dont 56 % de chirurgiens vitréorétiniens, d'évaluer la prévalence des troubles musculosquelettiques et les facteurs pouvant influencer sur leur survenue entre les chirurgiens opérant en tête haute et les chirurgiens opérant de manière conventionnelle [3]. Ici, 83 % des praticiens questionnés rapportaient des douleurs, qu'ils avaient acquises pour 79 % d'entre eux après avoir débuté la pratique de l'ophtalmologie.

Les douleurs rapportées étaient là-aussi principalement localisées dans les portions cervicales et dorsales et affectaient la qualité de vie des praticiens dans les deux tiers des cas. Il n'y avait pas de différence en terme de localisation de ces douleurs entre les chirurgiens opérant à l'aide d'un système 3D et les opérateurs conventionnels.

Par ailleurs, cette publication retrouve une tendance plus forte à l'apparition de douleurs musculosquelettiques chez les chirurgiens n'opérant pas avec un système 3D par rapport à leurs confrères opérant en tête haute, sans que l'analyse statistique soit significative.



Figure 1 : comparaison des postures adoptées au bloc opératoire : à *gauche*, posture chirurgicale dite « tête haute », dos droit, épaules relâchées, et bassin situé plus proche du dos du fauteuil, à *droite* posture conventionnelle [3].

Une véritable réflexion autour de cette problématique ergonomique est posée et l'objectif des nouveaux systèmes de visualisation dits « tête haute » est de minimiser les contraintes imposées par le microscope binoculaire standard, et d'opérer dans la position la plus physiologique possible, sans affecter la qualité de visualisation chirurgicale, ou rendre la chirurgie plus difficile.

Les systèmes de visualisation utilisant un écran 3D permettent d'améliorer les sensations d'inconfort induites par la position du chirurgien en améliorant la liberté de mouvement [3,4].

Ainsi, Eckardt et al., en 2016, ont interrogé vingt chirurgiens, au décours de plus de 400 vitrectomies [4]. Parmi eux, 91,7% des chirurgiens préféraient l'ergonomie et le confort de la position chirurgicale « tête haute » en comparaison à la position conventionnelle.

Par ailleurs, les résultats de leur étude tendent à montrer que le retrait de l'usage des oculaires lors des interventions chirurgicales est responsable d'une prévalence moins importante de problèmes d'asthénopie, pouvant survenir après une vision prolongée à travers des oculaires.

En effet, l'accommodation prolongée induite par l'utilisation d'oculaires peut être source d'asthénopie. Cependant, alors que l'effort d'accommodation est théoriquement moindre avec les systèmes 3D du fait d'une distance œil-écran plus importante, la visualisation prolongée en 3D est la source d'une perte d'amplitude accommodative et d'un conflit accommodation-vergence pouvant être responsable d'asthénopie [13].

2- Evaluation des systèmes 3D en chirurgie vitréorétinienne

L'efficacité et la sécurité des systèmes de visualisation 3D ont été évaluées comparativement à la microscopie conventionnelle au sein de multiples études rétrospectives ou prospectives.

En 2019, Talcott et al. ont évalué l'acuité visuelle post-opératoire, les minima d'endoillumination requis, la durée opératoire, le taux de complications per-opératoires et la facilité d'utilisation pour le chirurgien, des deux types de système (3D vs conventionnel), chez 39 patients traités pour membrane épirétinienne et trou maculaire [7]. Les résultats publiés dans cette étude retrouvaient une endo-illumination employée significativement plus faible en visualisation 3D. En revanche, il n'y avait pas de différence significative sur la durée opératoire, l'acuité visuelle et son gain post-opératoire.

Au sein du service d'Ophtalmologie du CHU de Toulouse, Kantor et al. , rétrospectivement et sur une durée d'un an, ont évalué l'efficacité et la sécurité de l'utilisation du système 3D Ngenuity™ dans la chirurgie vitréorétinienne [14]. Ici, 241 chirurgies du segment postérieur ont été étudiées. Les résultats obtenus ne mettaient pas en évidence de différence significative entre le système 3D et la microscopie conventionnelle en terme de taux de récurrence à 3 mois (pour les chirurgies de décollement de rétine ou DR), de taux de fermeture des trous maculaires (TM), et de diminution de l'épaisseur maculaire centrale dans les pelage de membrane épirétinienne (MER). Par ailleurs, la durée opératoire et le pronostic visuel étaient similaires entre les deux groupes.

De manière plus spécifique, au sein des études ayant comparé les deux systèmes de visualisation (conventionnel et 3D) dans la chirurgie du décollement de rétine, le système de visualisation 3D était au moins aussi efficace et fiable que le microscope conventionnel [7,14,15].

L'utilisation d'un système de visualisation 3D dans la chirurgie du trou maculaire a été évaluée par Kumar et al. dans une étude comparative (versus microscopie conventionnelle), ne permettant pas de retrouver de différence significative sur la durée opératoire totale, la durée du pelage de la membrane limitante interne (MLI), le nombre d'amorces de flap effectuées, le taux de fermeture des trous maculaires, ou sur le gain d'acuité visuelle post-opératoire, entre les deux microscopes. En revanche le niveau d'endo-illumination était, comme dans les autres études ayant évalué le système 3D, significativement inférieur au sein du groupe traité à l'aide du système 3D [16].

C) Objectifs de l'étude

Comme évoqué précédemment, un grand nombre d'études à travers le monde ont évalué séparément l'efficacité et la sécurité des deux dispositifs.

On ne retrouve à ce jour au sein de la littérature qu'une seule étude ayant comparé l'efficacité et la sécurité des deux systèmes de visualisation 3D Ngenuity™ et Artevo 800™, celle de Savastano et al., dans le domaine de la phacoémulsification [17].

Dans cette étude, incluant dans son effectif 100 chirurgies de cataracte, il n'y avait pas de différence significative entre Ngenuity™ et l'Artevo 800™ en terme de durée opératoire, de confort de l'opérateur, de perception de la couleur ou de luminosité.

Au sein de la littérature actuelle, aucune étude publiée n'a comparé à ce jour les deux systèmes dans le domaine de la chirurgie vitréorétinienne.

Le CHU de Toulouse s'étant doté des deux outils, le Ngenuity™ en 2017 et l'Artevo 800™ en Avril 2021, nous avons décidé de comparer l'efficacité et la sécurité des deux systèmes de visualisation 3D dans le traitement chirurgical de trois pathologies rétinienne : le décollement de rétine (DR), la membrane épirétinienne (MER) et le trou maculaire (TM).

II- Matériel et méthodes

A) Description de l'étude

Il s'agit d'une étude rétrospective, monocentrique, observationnelle, comparative et longitudinale, menée au CHU de Toulouse, dont l'objectif était de comparer deux groupes de patients opérés sur une même période, entre le 16 Avril 2021 et le 31 Janvier 2022, de chirurgie vitréorétinienne à l'aide de l'un des deux systèmes de visualisation 3D suivants : le Ngenuity TM (Alcon, Hunenberg, Swiss) et l'Artevo 800 TM(Zeiss, Oberkochen, Germany).

B) Population

Les patients étaient répartis en deux groupes selon le système de visualisation utilisé : le groupe 3DZ, dont les interventions chirurgicales étaient effectuées à l'aide du système Artevo 800 TM, et le groupe 3DN, chez qui le système Ngenuity TM était utilisé.

Toutes les données proviennent d'interventions chirurgicales effectuées entre le 16 Avril 2021, date à laquelle l'opérateur de l'étude a commencé à opérer à l'aide du microscope Artevo TM, et le 31 Janvier 2022.

Toutes les interventions ont été menées par le même opérateur, expérimenté en chirurgie vitréorétinienne.

Chacun des deux groupes était subdivisé en 3 sous-groupes correspondant aux 3 types de chirurgies vitréorétiniennes étudiées : DR, MER, et TM.

C) Critères d'inclusion et de non-inclusion

Seuls les patients majeurs ont été inclus dans notre étude. Ont été inclus les patients traités par vitrectomie ou par voie externe (pose de rail d'indentation) dans un contexte de DR, de MER ou de TM entre le 16 Avril 2021 et le 31 Janvier 2022 par un même opérateur expérimenté en chirurgie vitréorétinienne.

Ont été exclus les DR tractionnels et exsudatifs, ou issus d'un TM du myope fort, d'endophtalmie ou infection virale, post-traumatisme oculaire pénétrant ou perforant.

Par ailleurs, ont été exclus les patients opérés successivement à l'aide des deux systèmes, dans le cadre du traitement d'une récurrence de DR par exemple.

Ont été exclus également les rétinoshisis du myope fort.

D) Recueil de données

Nous avons recueilli les données associées aux programmes de blocs opératoires à l'aide du registre post-opératoire du logiciel Opéra™, en visualisant l'intégralité des programmes opératoires effectués dans les deux salles équipées des systèmes étudiés (Salle 3 OPH et Salle 4 OPH) au sein du bloc céphalique du CHU de Toulouse Purpan. Grâce aux données cliniques et descriptifs exhaustifs des interventions chirurgicales présents dans le logiciel Softalmo™, nous avons pu inclure les patients dans l'un des deux groupes 3DZ et 3DN (via une note dans le descriptif de l'intervention sur le système employé au cours de cette dernière). D'autre part, ce logiciel nous a permis de recueillir l'ensemble des données personnelles (âge, antécédents,...) et cliniques (acuité visuelle, type de DR et statut maculaire, nombre de déchiscences,...) nécessaires à notre étude.

Les données d'épaisseur maculaire (pour les MER et les TM), et de taille des TM étudiés ont pu être extraites de la base de données de notre OCT Heidelberg™(Heidelberg Engineering, Regensburg, Swiss). Le diamètre des TM a été mesuré au collet, sur la coupe OCT fovéolaire.

E) Description des systèmes de visualisation 3D utilisés

Les principales caractéristiques des deux systèmes 3D utilisés, issues des notices des constructeurs ont été regroupées ci-dessous [14, 18].

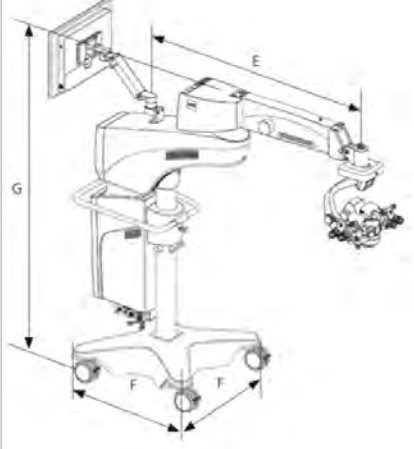
Tableau 1: Caractéristiques techniques des systèmes 3D utilisés		
	Ngenuity (ALCON)	Artevo 800 (ZEISS)
Dimensions et poids (microscope)	Dimensions: 157,5 cm x 82,6 cm x 122,7 cm Poids: 113,4 kg	Longueur du bras pivotant (E): 89 cm Encombrement du pied (F): 80 cm Hauteur totale (G): 1,88 m Poids: non précisé 

Tableau 1: Caractéristiques techniques des systèmes 3D utilisés

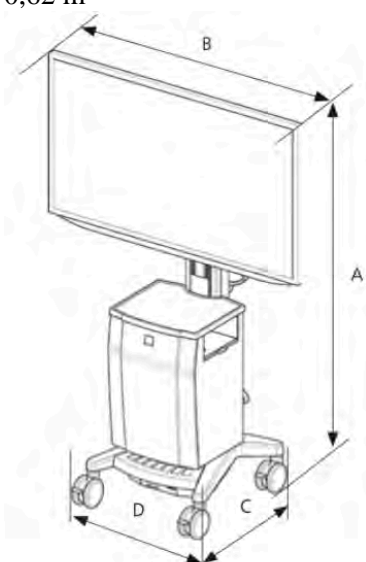
	Ngenuity (ALCON)	Artevo 800 (ZEISS)
Dimensions (écran)	55 pouces, affichage 2D et 3D	55 pouces, affichage 2D et 3D, Hauteur totale (A): 1,83 m Largeur de l'écran (B): 1,26 m Longueur du chariot de l'écran (C): 0,72 m Largeur du chariot de l'écran (D): 0,62 m 
Caractéristiques techniques (écran)	Résolution: 4K (3840 x 2160 pixels) OLED (Organic Light Emitting Diode)	Résolution: 4K (3840 x 2160 pixels)
Caractéristiques techniques (caméras)	Caméra : ICM 5 3D HDR surgical camera Latence: 70 ms Type: 3D full HD (2 caméra Full HD (1920x1080)). Dimensions: 450 g, 8,3 cm x 7,8 cm x 9,5 cm	2 caméras 4K à trois puces Latence: < 50 ms

Tableau 1: Caractéristiques techniques des systèmes 3D utilisés

	Ngenuity (ALCON)	Artevo 800 (ZEISS)
OCT peropérateur (iOCT)	Module externe, non intégré au système de visualisation 3D (non utilisé dans cette étude)	Intégré au microscope Profondeur du balayage axial: 2,9 et 5,8 mm dans les tissus. Longueur de balayage réglable de 3 à 16 mm. Rotation de balayage réglable à 360 ° Modes de balayage pour l'acquisition en temps réel (1 ligne, 5 lignes et Mire) et par capture (1 lignes, 5 lignes et cube)
Autres caractéristiques techniques	Clavier sans fil, pavé tactile Logiciel: Windows 10 intégré, Intel 6e génération, Core i7-6700 Carte graphique: 8 GB VRAM, 1920 Cores Nvidia GPU Mémoire vive: 16 GB Stockage: 250 GB en définition standard et 4 TB en haute-définition, capacité de plus de 100 heures en 3D HD	ZEISS Resight: Système de visualisation du fond d'oeil ZEISS RESIGHT™ 700 (motorisé) avec inverseur intégré possible (option à l'achat du dispositif)



NGENUITY™ 3D Visualization System

ARTEVO 800™ OCT



Figure 3 : Configuration des deux systèmes 3D au bloc opératoire.

F) Description des interventions chirurgicales effectuées

- 1) La chirurgie du décollement de rétine a été effectuée soit ab interno par vitrectomie avec triple voie d'abord par sclérotomie à la pars plana, soit par voie externe. Elle a été effectuée en ambulatoire ou en hospitalisation. Après désinfection cutanéomuqueuse à la bétadine ophtalmique selon protocole CLIN III, un champ stérile et un blépharostat étaient posés, puis dans le cas où une vitrectomie avait été décidée, une triple voie d'abord à la pars plana de sclérotomie par des trocards de dimension 25G (gauges) était effectuée (trocards 23G et 27G non utilisés dans l'étude pour les DR). Dans ce cas, une vitrectomie centrale et périphérique extensive sous dépression sclérale était réalisée, puis une rétinotomie du ou des clapet(s) de la ou des déchiscence(s) retrouvée(s) était faite. Des interventions supplémentaires (usage de perfluorocarbones liquides ou PFCL, rétinotomie de drainage par endodiathermie, rétinectomie, dissection de prolifération vitréorétinienne ou PVR,...) étaient effectuées puis un échange fluide/air permettait ensuite de pouvoir effectuer la rétinopexie de la ou des déchiscences par cryoapplication (cryode) ou endolaser. Enfin, un échange air/gaz ou air/silicone était réalisé à visée de tamponnement post-opératoire. Le choix du gaz (C₂F₆, C₃F₈) ou de l'huile de silicone (Huile de silicone 1000, Densiron,...) était effectué selon l'appréciation du chirurgien. Enfin, les sclérotomies étaient suturées par du fil vicryl 8-0 (résorbable). Un gaz-système permettait d'assurer une pression intra-oculaire en fin de chirurgie calibrée à 25 mmHg. En fin de chirurgie, une antibiothérapie topique par Tobrex ou Quinofree était administrée. Un traitement local associant de l'azithromycine (AZYTER, une goutte deux fois par jour pendant trois jours), de la dexaméthasone (DEXAFREE, une goutte trois fois par jour pendant un mois), un mélange dorzolamide/timolol (DUALKOPT, une goutte deux fois par jour pendant un mois), et un substitut lacrymal (LACRIFLUID, une goutte trois fois par jour pendant un mois) dans l'œil opéré était prescrit. Un traitement systémique par acétazolamide (DIAMOX 250 mg, un demi comprimé trois fois par jour pendant sept jours) et chlorure de potassium (DIFFU-K, une gélule par jour pendant sept jours) était introduit.

- 2) La chirurgie de pelage de membrane épirétinienne était réalisée par vitrectomie avec triple voies d'abord par sclérotomie à la pars plana. Les types d'anesthésies et d'hospitalisations étaient choisies avec les mêmes modalités que lors des chirurgies de DR (cf ci-dessus). La détersion et les étapes préliminaires étaient identiques à la chirurgie du DR. Une vitrectomie centrale était effectuée, associée à un décollement postérieur du vitré après administration de colorant bleu

trypan - bleu de Coomasie (Blue Dual Membrane TM). Le pelage de la MER était effectué à la pince 25G. Un pelage de la membrane limitante interne (MLI) pouvait être réalisé à l'aide de la pince 25 G. Aucun tamponnement interne post-opératoire n'a été effectué. Une suture des sclérotomies par vicryl 8.0 pouvait être effectuée en fin d'intervention. Aucun positionnement particulier du patient n'était requis en post-opératoire. Un traitement local associant de l'azithromycine (AZYTER, une goutte deux fois par jour pendant trois jours), de la dexaméthasone (DEXAFREE, une goutte trois fois par jour pendant un mois), et un substitut lacrymal (LACRIFLUID, une goutte trois fois par jour pendant un mois) dans l'œil opéré était prescrit.

- 3) La chirurgie du trou maculaire était réalisée par vitrectomie avec triple voie d'abord par sclérotomie à la pars plana. Le choix de l'anesthésie, de l'hospitalisation ainsi que les étapes chirurgicales préliminaires étaient les mêmes que dans les chirurgies de DR et de MER. Une vitrectomie centrale et un décollement postérieur du vitré étaient effectuées. Une coloration du vitré par triamcinolone (vitreal-S) pouvait être nécessaire. Un pelage de la MLI après coloration par un colorant bleu trypan - bleu de Coomasie a été effectué chez tous les patients inclus dans l'étude. Un tamponnement post-opératoire par gaz (SF6 ou C2F6) était réalisé en fin d'intervention. Aucun tamponnement par air n'a été effectué dans cette étude. Une suture des sclérotomies par vicryl 8.0 était effectuée en fin d'intervention. En post-opératoire, une position bulle (face vers le sol) était prescrite pendant 5 jours. Un traitement local associant de l'azithromycine (AZYTER, une goutte deux fois par jour pendant trois jours), de la dexaméthasone (DEXAFREE, une goutte trois fois par jour pendant un mois), un mélange brinzolamide/brimonidine (SIMBRINZA, une goutte deux fois par jour pendant un mois) et un substitut lacrymal (LACRIFLUID, une goutte trois fois par jour pendant un mois) dans l'œil opéré était prescrit.

G) Critères de jugement

Les critères de jugement principaux de cette étude étaient la comparaison du taux de récurrence des DR à 6 mois de la chirurgie, du taux de fermeture des TM et de la diminution de l'épaisseur maculaire centrale des MER à 3 mois de la chirurgie entre les deux groupes étudiés.

Les critères de jugement secondaires étudiés étaient la MAVC (meilleure acuité visuelle corrigée) à 3 mois, la durée opératoire (ou durée chirurgicale, définie par l'installation et le retrait du microscope au-dessus de l'œil du patient) et le taux de complications à 3 mois.

Afin d'assurer la comparabilité des deux groupes 3DZ et 3DN, ont été analysées les caractéristiques suivantes, toutes chirurgies confondues : l'âge, le sexe, le côté opéré, la réfraction pré-opératoire, le statut cristallinien et les antécédents ophtalmologiques. Dans les sous-groupes étudiés, nous avons analysé les voies d'abord employées et les types d'hospitalisations et d'anesthésies choisies. Dans le sous-groupe DR, les éléments suivants ont été comparés : la méthode de rétinopexie, la présence d'une indentation et le tamponnement interne employés, ainsi que le statut maculaire, la nature et le nombre de lésions à l'origine du DR, la taille d'une éventuelle déchiscence, le stade de PVR associée, la présence d'une hémorragie intravitréenne (HIV), la présence d'un antécédent de DR homolatéral, et la durée d'évolution du DR. Dans le sous-groupe MER, nous avons comparé la présence d'un pelage de MLI, la présence d'un DPV, la durée d'évolution de la MER, l'épaisseur maculaire centrale initiale, son caractère primitif ou secondaire, et la présence d'un trou lamellaire ou un pseudo-trou associé. Dans le sous-groupe TM, ont été comparés le pelage de la MLI, la durée d'évolution du trou, l'épaisseur maculaire centrale initiale, et la taille mesurée au collet en OCT.

H) Analyse statistique

L'ensemble des analyses statistiques a été réalisée à l'aide de l'interface pvalue.io, interface graphique pour les publications scientifiques médicales (<https://pvalue.io>).

Les données ont été analysées de manière univariée sur les groupes 3DN et 3DZ, pour chaque paramètres étudiés, toutes pathologies confondues, ainsi qu'en sous-groupes DR, MER et TM.

Les variables qualitatives ont été comparées à l'aide du test du chi² ou du test exact de Fischer lorsque les conditions d'application du chi² n'étaient pas respectées.

Les variables quantitatives ont été comparées à l'aide du test de Wilcoxon.

Une différence de résultats était considérée comme significative si $p < 0,05$.

III- Résultats

A) Analyse démographique générale

Nous avons inclus au sein de cette étude un total de 71 yeux (71 patients), dont 37 yeux opérés avec le système Ngenuity TM et 34 avec le système Arveo 800 TM.

Nous n'avons pas mis en évidence de différence significative entre les deux groupes sur l'âge du patient, son sexe, le côté opéré, la réfraction pré-opératoire, le statut cristallinien et les antécédents ophtalmologiques (cf. tableau 2).

Tableau 2 : Analyse démographique de la population étudiée			
	Groupe 3DN	Groupe 3DZ	p
Nombre d'yeux (n, %)	37 (52%)	34 (48%)	
Age (moyenne, +/- DS)	66,3 (+/- 11,4)	67,7 (+/- 8,2)	0,56 *
Sexe (n, % total d'yeux)			0,78 **
Homme	20 (54%)	17 (50%)	
Femme	17 (46%)	17 (50%)	
Côté de l'oeil opéré (n, % total d'yeux)			0,56 **
Droit	15 (40%)	18 (53%)	
Gauche	22 (60%)	16 (47%)	
Réfraction pré-opératoire (n, % total d'yeux)			0,46 **
Hypermétropie faible	18 (49%)	17 (50%)	
Myopie faible	12 (32%)	14 (41%)	
Myopie forte	7 (19%)	3 (9%)	
Statut cristallinien (n, % total d'yeux)			0,64 **
Phake	18 (49%)	19 (56%)	

Tableau 2 : Analyse démographique de la population étudiée

	Groupe 3DN	Groupe 3DZ	p
Pseudophake	19 (51%)	15 (44%)	
Antécédents OPH			0,64 **
Non	23 (62%)	14 (41%)	
DR	7 (19%)	5 (15%)	
MER/TM	2 (5%)	4 (12%)	
DMLA/OVR/RD	2 (5%)	6 (18%)	
Chirurgie du segment antérieur (LASIK, DSAEK)	0	2 (6%)	
Traumatisme oculaire contusif	0	1 (3%)	

* test employé : Wilcoxon

** test employé : Fischer

B) Analyse statistique comparative des techniques chirurgicales employées

Au total, 37 patients (52%) ont été inclus dans le groupe 3DN et 34 patients (48%) dans le groupe 3DZ. Une très grande majorité des DR (94%) a été opérée par voie de vitrectomie. Il n'y avait pas de différence significative sur la méthode de rétinopexie employée, sur le type d'indentation ou le tamponnement interne choisi, entre les deux groupes étudiés.

Dans la chirurgie de MER, un pelage de la MLI a été effectué dans 88 % des cas, sans différence significative entre les deux groupes.

Toutes les chirurgies de TM ont été associées à un pelage de MLI, plus ou moins associé à la réalisation d'un flap inversé, sans différence significative retrouvée sur la réalisation d'un flap, sur le choix du tamponnement interne post-opératoire ou sur le(s) colorant(s) choisi(s) pendant l'intervention.

Tableau 3 : analyse comparative des techniques chirurgicales employées			
	Groupe 3DN	Groupe 3DZ	p
Type de chirurgie effectuée (n, % du total d'yeux)			
DR Vitrectomie	15 (40%)	17 (50%)	
DR voie externe	2 (5%)	0	
MER	15 (40%)	11 (32%)	
TM	5 (13%)	6 (18%)	
Combinée (chirurgie + PKE), (n, % du total d'yeux)			0,71 *
Non	32 (86%)	31 (91%)	
Oui	5 (14%)	3 (9%)	
Voie d'abord (en gauge, n, % du total d'yeux)			0,49 *
25 G	34 (92%)	34 (100%)	
27 G	1 (3%)	0	
Voie externe	2 (5%)	0	

Tableau 3 : analyse comparative des techniques chirurgicales employées

	Groupe 3DN	Groupe 3DZ	p
Anesthésie employée (n, % total d'yeux)			0,21 **
Anesthésie générale	25 (67%)	18 (53%)	
Anesthésie loco-régionale	12 (33%)	16 (47%)	
Hospitalisation (n, % total d'yeux)			0,49 *
Ambulatoire	35 (95%)	34 (100%)	
Hospitalisation	2 (5%)	0	
DR (nombre de patients opérés de DR)	17	17	
Méthode de rétinopexie (n, % du total d'yeux opérés de DR)			0,4 *
Cryothérapie	9 (53%)	7 (41%)	
Endolaser	5 (29%)	7 (41%)	
Cryothérapie + Endolaser	2 (12%)	0	
Non (voie externe)	1 (6%)	3 (18%)	
Indentation (n, % total d'yeux opérés de DR)			1,0 *
> 2 quadrants	3 (18%)	3 (18%)	
Non	14 (82%)	14 (82%)	
Tamponnement interne (n, % total d'yeux opérés de DR)			0,6 *
C2F6	10 (58%)	11(41%)	
C3F8	1 (6%)	0	
Huile de silicone 1000	3 (18%)	3 (18%)	
Densiron	1 (6%)	1 (6%)	
MCT	0	2 (6%)	
Non (rail)	2 (12%)	0	

	Groupe 3DN	Groupe 3DZ	p
TM (nombre de patients opérés de TM)	5	6	
Pelage de la MLI (n, % du total d'yeux opérés de TM)			1,0 *
Oui	5 (100%)	6 (100%)	
Non	0	0	
Réalisation d'un flap (n, % total d'yeux opérés de TM)			1,0 *
Oui	2 (40%)	3 (50%)	
Non	3 (60%)	3 (50%)	
Tamponnement interne (n, % total d'yeux opérés de TM)			1,0 *
SF6	4 (80%)	4 (67%)	
C2F6	1 (20%)	2 (33%)	
MER (nombre de patients opérés de MER)	15	11	
Pelage de la MLI (n, % du total d'yeux opérés de TM)			0,56 *
Oui	14 (93%)	9 (82%)	
Non	1 (7%)	2 (8%)	

* test employé : Fischer

** test employé : Pearson

C) Analyse des caractéristiques anatomo-cliniques préopératoires des interventions chirurgicales étudiées

L'analyse statistique effectuée sur l'acuité visuelle initiale (en logMar) n'a pas mis en évidence de différence significative entre les groupes 3DN et 3DZ pour l'ensemble des chirurgies vitréorétiniennes étudiées.

Le statut maculaire des DR (macula décollée ou non), la nature, le nombre et la taille de(s) la lésion(s) responsable(s) du DR étaient retrouvés sans différence significative entre les deux groupes.

Aucune différence significative n'a été retrouvée après analyse de la présence et du stade de PVR entre les deux groupes. Cette dernière était essentiellement de bas grade (94 % des DR étaient associés à une PVR de stade < C1).

Un antécédent de DR homolatéral a été retrouvé chez 32% des yeux traités pour DR. Cette variable, de même que la durée d'évolution du DR étaient retrouvées sans différence significative entre les deux groupes.

Il n'existait pas de différence significative entre les durées d'évolution des MER de chaque groupe. L'épaisseur maculaire centrale moyenne était de $450 \pm 75,2 \mu\text{m}$ dans le groupe 3DN et de $495 \pm 66,8 \mu\text{m}$ dans le groupe 3DZ. Les MER étudiées étaient en majorité primitives (88%) et aucune différence significative n'a été mise en évidence quant à la présence d'un trou lamellaire ou d'un pseudo-trou associés à la MER.

La taille des TM était inférieure dans le groupe 3DN ($306 \pm 123 \mu\text{m}$) par rapport au groupe 3DZ ($341 \pm 92,8 \mu\text{m}$), sans différence significative. De même, l'épaisseur maculaire centrale moyenne ($429 \mu\text{m}$ dans le groupe 3DN, $420 \mu\text{m}$ dans le groupe 3DZ) et la durée d'évolution des TM n'étaient pas significativement différentes.

Tableau 4 : analyse des caractéristiques préopératoires des interventions chirurgicales étudiées

	Groupe 3DN	Groupe 3DZ	p
MAVC initiale en Log Mar (moy, ± DS)			
DR	0,975 (± 0,985)	1,35 (± 1,02)	0,31 *
MER	0,352 (± 0,181)	0,313 (± 0,188)	0,73 *
TM	0,613 (± 0,383)	0,637 (± 0,414)	1,0 *
Total	0,673 (± 0,740)	0,889 (± 0,878)	0,33 *
DR			
Statut maculaire (n, % du total d'yeux opérés de DR)			0,49 **
Macula OFF	9 (53%)	11 (65%)	
Macula ON	8 (47%)	6 (35%)	
Nature de la lésion (n, % du total d'yeux opérés de DR)			0,36 ***
PVR	1 (5,9%)	3 (18%)	
Déchirure	14 (82%)	10 (59%)	
Dialyse	1 (5,9%)	0 (0%)	
Trou rétinien	0 (0%)	1 (5,9%)	
Non vue	1 (5,9%)	1 (5,9%)	
Nombre de lésions (n, % du total d'yeux opérés de DR)			0,42 ***
1	10 (59%)	9 (53%)	
2	3 (18%)	3 (18%)	
3	2 (12%)	0 (0%)	
0	2 (12%)	5 (29%)	
Taille de la déhiscence en quadrant (n, % du total d'yeux opérés de DR)			0,4 ***
<1	14 (82%)	12 (71%)	
> ou = à 1	1 (5,9%)	0 (0%)	
non	2 (12%)	5 (29%)	

	Groupe 3DN	Groupe 3DZ	p
PVR associée (n, % du total d'yeux opérés de DR)			
a	0 (0%)	2 (12%)	0,19 ***
b	2 (12%)	6 (35%)	
c1	1 (5,9%)	0 (0%)	
>c1	1 (5,9%)	1 (5,9%)	
non	13 (76%)	8 (47%)	
HIV associée (n, % du total d'yeux opérés de DR)			1,0 ***
non	17 (100%)	17 (100%)	
Antécédent de DR du même côté (n, % du total d'yeux opérés de DR)			0,27 **
oui	7 (41%)	4 (24%)	
non	10 (59%)	13 (76%)	
Durée d'évolution (n, % du total d'yeux opérés de DR)			0,49 ***
1-3 jours	2 (12%)	3 (18%)	
4-7 jours	4 (24%)	7 (41%)	
> 7 jours	8 (47%)	5 (29%)	
inconnu	3 (18%)	2 (12%)	
MER			
DPV (n, % du total d'yeux opérés de MER)			0,49 ***
Complet	13 (87%)	11 (100%)	
Incomplet	2 (13%)	0 (0%)	
Durée d'évolution (n, % du total d'yeux opérés de MER)			0,39 ***
8 jours-3 mois	1 (6,7%)	0 (0%)	
3-6 mois	0 (0%)	2 (18%)	
1-3 ans	1 (6,7%)	1 (9,1%)	
> 3 ans	2 (13%)	0 (0%)	
Inconnu	11 (73%)	8 (73%)	

	Groupe 3DN	Groupe 3DZ	p
Epaisseur maculaire centrale initiale (moyenne en μm, \pm DS)	450 (\pm 75,2)	495 (\pm 66,8)	0,073 *
Etiologie de la MER (n, % du total d'yeux opérés de MER)			0,56 ***
Primitive	14 (93%)	9 (82%)	
Secondaire	1 (6,7%)	2 (18%)	
Présence d'un trou lamellaire ou d'un pseudotrou associé (n, % du total d'yeux opérés de MER)			1,0 ***
Trou lamellaire	1 (6,7%)	1 (9,1%)	
Pseudotrou	1 (6,7%)	1 (9,1%)	
Non	13 (87%)	9 (82%)	
TM			
Durée d'évolution (n, % du total d'yeux opérés de TM)			0,44 ***
< 6 mois	1 (20%)	3 (50%)	
> 6 mois	2 (40%)	0 (0%)	
inconnu	2 (40%)	3 (50%)	
Epaisseur maculaire centrale initiale (moyenne en μm, \pm DS)	429 (\pm 37,1)	420 (\pm 33,0)	0,66 *
Taille au collet (moyenne en μm, \pm DS)	306 (\pm 123)	341 (\pm 92,8)	0,93 *

* test employé : Wilcoxon

** test employé : Pearson

*** test employé : Fischer

D) Analyse statistique sur les critères de jugement principaux et secondaires

1- Critères de jugement principaux

1) Taux de récurrence des DR à 6 mois

Dans notre étude, 6 patients opérés de DR (3 patients par groupe) ont récidivé, soit 21,4 % des DR, sans différence significative entre les deux groupes ($p = 1,0$).

2) Diminution de l'épaisseur maculaire centrale à 3 mois dans les MER

La différence d'épaisseur maculaire centrale à 3 mois de la chirurgie (en comparaison à l'épaisseur maculaire centrale pré-opératoire) était de $-75,1 \pm 56,8 \mu\text{m}$ dans le groupe 3DN, et $-97,7 \pm 69,2 \mu\text{m}$ dans le groupe 3DZ, sans différence significative ($p = 0,5$).

3) Taux de fermeture des TM à 3 mois

Dans notre étude, tous les patients inclus dans les deux groupes opérés de TM présentaient une fermeture du trou à 3 mois ($p = 1,0$).

2 - Critères de jugement secondaires

1) Gain de MAVC à 3 mois (logMar)

Il existait une amélioration significative des MAVC à 1 et 3 mois de l'intervention dans les groupes et sous-groupes étudiés, toutes chirurgies confondues ($p < 0,01$).

L'analyse en sous-groupe des chirurgies effectuées n'a pas mis en évidence de différence significative sur le gain de MAVC à 3 mois entre les deux groupes étudiés. Toutes chirurgies confondues, ces gains étaient de $-0,379 \pm 0,575 \text{ logMar}$ dans le groupe 3DN et $-0,426 \pm 0,767 \text{ logMar}$ dans le groupe 3DZ ($p = 0,79$). Dans le sous-groupe de patients opérés de DR, les gains d'acuité visuelle de $-0,576 \pm 0,774 \text{ logMar}$ dans le groupe 3DN et de $-0,806 \pm 0,912 \text{ logMar}$ dans le groupe 3DZ n'étaient pas statistiquement différents ($p = 0,64$). Il n'y avait pas de différence significative entre les gains d'acuité visuelle des deux groupes dans le sous-groupe MER, qui

étaient de $-0,174 \pm 0,111$ logMar dans le groupe 3DN et $-0,103 \pm 0,218$ logMar dans le groupe 3DZ. Enfin, dans le sous-groupe TM, les gains d'acuité visuelle de $-0,322 \pm 0,459$ logMar chez 3DN et $-0,069 \pm 0,641$ logMar chez 3DZ n'étaient pas statistiquement différents ($p = 0,79$).

2) Durée opératoire (en minutes)

La durée opératoire moyenne était, toutes chirurgies confondues, de $46,6 \pm 19,7$ minutes dans le groupe 3DN et de $46,6 \pm 20,3$ minutes dans le groupe 3DZ, sans différence significative ($p = 1,0$). L'analyse en sous-groupe retrouvait une durée opératoire entre les deux groupes, que ce soit pour les DR ($49,9 \pm 22,8$ minutes vs $50,4 \pm 22,9$ minutes : $p = 0,95$), les MER ($39,8 \pm 13$ minutes vs $33,8 \pm 10,9$ minutes : $p = 0,17$) et les TM ($55,6 \pm 22,5$ minutes vs $59,0 \pm 14,5$ minutes : $p = 0,66$) sans différence significative.

3) Complications à 3 mois

Le taux de complications à 3 mois n'était pas statistiquement différent entre les deux groupes étudiés ($p = 0,09$). Aucune complication peropératoire directement liée aux systèmes de visualisation 3D n'a été rapportée dans l'étude.

Tableau 5 : analyse des résultats anatomiques et fonctionnels			
	Groupe 3DN	Groupe 3DZ	p
MAVC à 1 mois en LogMAR (moy, ± DS)			
DR	0,470 (± 0,609)	0,564 (± 0,596)	0,69 *
MER	0,201 (± 0,158)	0,265 (± 0,148)	0,32 *
TM	0,368 (± 0,199)	0,634 (± 0,847)	0,71 *
Total	0,347 (± 0,441)	0,480 (± 0,557)	0,38 *
MAVC à 3 mois en LogMAR (moy, ± DS)			
DR	0,399 (± 0,382)	0,509 (± 0,705)	1,0 *
MER	0,179 (± 0,151)	0,210 (± 0,180)	0,62 *

	Groupe 3DN	Groupe 3DZ	p
TM	0,291 (± 0,231)	0,568 (± 0,884)	0,64 *
Total	0,295 (± 0,301)	0,420 (± 0,623)	0,88 *
Gain de MAVC à 1 mois en LogMAR (moy, ± DS)			
DR	-0,505 (± 0,816)	-0,813 (± 0,889)	0,36 *
MER	-0,151 (± 0,114)	-0,048 (± 0,228)	0,082 *
TM	-0,244 (± 0,472)	-0,003 (± 0,579)	0,93 *
Total	-0,326 (± 0,596)	-0,411 (± 0,772)	0,94 *
Gain de MAVC à 3 mois en LogMAR (moy, ± DS)			
DR	-0,576 (± 0,774)	-0,806 (± 0,912)	0,64 *
MER	-0,174 (± 0,111)	-0,103 (± 0,218)	0,41 *
TM	-0,322 (± 0,459)	-0,069 (± 0,641)	0,79 *
Total	-0,379 (± 0,575)	-0,426 (± 0,767)	0,79 *
Complications à 3 mois (n, % du total d'yeux opérés)			0,09 **
Cataracte	5 (13%)	6 (18%)	
Oedème maculaire post-opératoire	3 (8%)	9 (26%)	
MER secondaire	0 (0%)	2 (6%)	
Hypertonie oculaire	3 (8%)	1(3%)	
Non	27 (73%)	18 (53%)	
DR			
Récidive de DR dans les 6 mois (n, % du total d'yeux opérés de DR)			1,0 **
Oui	3 (18%)	3 (18%)	
Non	14 (82%)	14 (82%)	
MER			
Différence d'épaisseur maculaire centrale à 1 mois (µm moyenne ± DS)	-61,2 (± 56,9)	-84,0 (± 64,2)	0,36 *
Différence d'épaisseur maculaire centrale à 3 mois (µm moyenne ± DS)	-75,1 (± 56,8)	-97,7 (± 69,2)	0,5 *

	Groupe 3DN	Groupe 3DZ	p
Epaisseur maculaire centrale à 1 mois (μm moyenne \pm DS)	389 (\pm 48,5)	411 (\pm 52,1)	0,38 *
Epaisseur maculaire centrale à 3 mois (μm moyenne \pm DS)	375 (\pm 54,0)	398 (\pm 46,8)	0,45 *
Durée opératoire en minutes (moyenne \pm DS)			
DR	49,9 (\pm 22,8)	50,4 (\pm 22,9)	0,95 ***
MER	39,8 (\pm 13)	33,8 (\pm 10,9)	0,17 *
TM	55,6 (\pm 22,5)	59,0 (\pm 14,5)	0,66 *
Total	46,6 (\pm 19,7)	46,6 (\pm 20,3)	1,0 ***

* test employé : Wilcoxon

** test employé : Fischer

*** test employé : Welch

IV- Discussion

A) Sur les résultats de l'étude

Dans notre étude rétrospective, l'analyse statistique effectuée sur le gain d'acuité visuelle à 1 et 3 mois n'a pas mis en évidence de différence significative entre les deux systèmes de visualisation 3D utilisés.

L'analyse des critères anatomiques de récurrence des DR, de fermeture des TM et de diminution de l'épaisseur maculaire centrale des MER, n'a pas mis en évidence de différence significative entre les deux groupes.

Dans notre étude, le taux de récurrence des DR opérés, dans chaque groupe, était de 18 % dans les 6 mois. Dans la littérature, ce chiffre varie fortement selon les études. Ainsi, dans cette étude prospective menée au Royaume-Uni sur un échantillon de 3253 vitrectomies pour décollements de rétine macula off, une deuxième intervention chirurgicale était nécessaire dans 16,3 % des cas afin de réappliquer la rétine [19]. L'intervalle entre la première intervention chirurgicale du DR et la récurrence n'a cependant pas été étudié. Dans une autre étude, menée sur un échantillon plus faible de 286 yeux opérés de décollement de rétine par vitrectomie et/ou indentation, le taux de récurrence était de 17 % dans le groupe traité par vitrectomie, 14% dans celui traité par voie externe seule, et 18% en cas de vitrectomie associée à une indentation [20]. Le taux de récurrence des DR dans notre étude est donc proche des valeurs retrouvées dans la littérature.

Le taux de fermeture des TM, dans notre étude, était de 100 % des cas dans les deux groupes. Cette donnée ne permet donc pas de discriminer les deux systèmes de visualisation 3D employés. Dans la littérature, les études effectuées sur des critères anatomiques de fermeture des trous maculaires retrouvent fréquemment un taux de fermeture supérieur à 90 %. Ainsi, dans une étude rétrospective sur base de données, le taux de fermeture des trous étaient de 96% (1199 des 1253 yeux opérés) [21]. Dans une autre étude comparative, 100 % des TM traités avec pelage de la MLI étaient primitivement refermés et ne se réouvraient pas dans les 6 mois suivant la chirurgie [22]. L'effectif relativement faible d'yeux opérés de TM dans notre étude (n = 11) a probablement également participé à ne pas mettre en évidence de réouverture de trous.

Les patients opérés de MER présentaient une différence d'épaisseur maculaire centrale à 3 mois analysée statistiquement sans différence significative entre les deux groupes. Les patients

opérés de MER dans le groupe 3DN présentait une différence d'épaisseur maculaire centrale à 3 mois moins importante que les patients opérés dans le groupe 3DZ (-75,1 μm en moyenne dans le groupe 3DN, et -97,7 μm dans le groupe 3DZ). On peut expliquer cette différence entre les deux groupes par une épaisseur maculaire centrale initiale préopératoire plus faible dans le groupe 3DN par rapport au groupe 3DZ (450 μm en moyenne dans le groupe 3DN, 495 μm dans le groupe 3DZ). Dans l'étude de référence du service ayant comparé le système 3D NgenuityTM et la microscopie conventionnelle, la différence d'épaisseur maculaire centrale à 3 mois dans le groupe opéré avec le système NgenuityTM était de $-154 \pm 159 \mu\text{m}$, mais l'épaisseur maculaire centrale préopératoire était plus importante que dans notre étude (510 μm en moyenne) [14]. Dans la littérature, une étude de Gruber et al. retrouvait une diminution moyenne d'épaisseur maculaire centrale de 92 μm , proche des valeurs retrouvées dans notre étude [23].

La durée opératoire toutes interventions chirurgicales confondues était de $46,6 \pm 19,7$ minutes dans le groupe 3DN et $46,6 \pm 20,3$ minutes dans le groupe 3DZ. Les durées opératoires retrouvées dans les subdivisions DR, MER et TM étaient analysées sans différence significative sur le plan statistique entre les deux groupes. Dans l'étude de Savastano et al., qui comparait l'usage des deux systèmes de visualisation 3D en phacoémulsification, la durée opératoire moyenne était comparable entre les deux systèmes de visualisation 3D ($17,07 \pm 4,80$ minutes) [17].

B) Retour d'expérience du chirurgien dans notre service sur l'utilisation des deux dispositifs

Dans l'étude de Savastano et al., le confort général de l'opérateur, la perception des couleurs et de la luminosité étaient semblables entre les deux systèmes de visualisation 3D. Ainsi, selon cette étude, les systèmes Ngenuity™ et Artevo 800™ avaient un confort chirurgical similaires dans la phacoémulsification [17].

Les avantages et inconvénients de chacun des deux systèmes, rapportés par l'opérateur de notre étude sont résumés dans le tableau ci-joint (figure 3).

Tableau 6: Comparaison des éléments techniques et caractéristiques des systèmes 3D Ngenuity et Artevo 800

	Ngenuity™	Artevo 800™
Qualité de l'image	<ul style="list-style-type: none"> - Qualité de l'image 3D se dégradant lorsque l'opérateur n'est pas strictement en face de l'écran - Couleurs moins naturelles en comparaison avec Artevo 800™ 	<ul style="list-style-type: none"> - Moindre dégradation de la qualité de l'image 3D lorsque l'opérateur se décale. - Couleurs plus naturelles en comparaison avec Ngenuity™
Encombrement spatial	Connexion microscope-écran et microscope-console Constellation™ par deux câbles, d'apparences fragiles	<ul style="list-style-type: none"> - Connexion microscope-écran par un câble unique, d'apparence plus robuste - Dimensions du chariot de l'écran imposantes
Inverseur numérique	<ul style="list-style-type: none"> - Intégré - Activation manuelle par manipulation au clavier ou à la pédale 	<ul style="list-style-type: none"> - Intégré - Activation automatique
Filtres numériques	Oui	Non
Temps de latence ressenti	Non	Non
Conversion 3D-oculaires	Temps de conversion de plusieurs minutes, par retrait du boîtier caméra	Temps de conversion inférieur à 1 minute, sans manipulation externe d'un boîtier caméra sur le microscope
OCT peropérateur	Module externe, non utilisé dans notre structure	Intégré, accessible facilement sans manipulation externe, commande à la pédale possible

1- Profondeur de champ

La profondeur de champ est un des secteurs optiques améliorés par l'utilisation des systèmes de visualisation 3D [3,6].

En optique, la profondeur de champ correspond au plan dans lequel tous les objets observés paraissent nets à l'œil nu. A l'instar des procédés photographiques, la profondeur de champ est corrélée au degré d'ouverture du diaphragme du système optique. Plus cette ouverture est faible, plus la profondeur de champ est importante. En revanche, plus l'ouverture du diaphragme est faible, plus l'éclairage de l'objet observé doit être important pour obtenir un même niveau de visibilité. L'augmentation du gain numérique apportée par la sensibilité des caméras et le traitement du logiciel utilisés en microscopie 3D permettent de conserver une qualité d'image satisfaisante tout en améliorant la profondeur de champ.

La profondeur de champ, ainsi améliorée, permet un plus grand grossissement et une mise au point optimale sur l'ensemble du site chirurgical.

Ainsi, Ben Helayel et al. ont retrouvés dans leur étude que 85% des opérateurs utilisant un système de visualisation 3D numérique ressentaient une amélioration de la profondeur de champ grâce à ces systèmes [3].

Dans notre étude, la profondeur de champ proposée par les deux systèmes était comparable.

2- Endo-illumination

En terme d'illumination peropératoire, l'utilisation de caméras équipées de capteurs CMOS (Complementary Metal-Oxide Semiconductor) permet l'usage de niveaux d'illumination plus faibles qu'en microscopie conventionnelle [4,6,7]. En effet, Eckardt et al. rapportent par exemple un niveau d'endo-illumination employé se situant autour de 20-30% du niveau de lumière maximal de l'appareil de vitrectomie [4].

Ces faibles niveaux d'illumination réduisent les risques de photo-traumatisme et de photo-toxicité en chirurgie vitréorétinienne [24,25,26]. Ils sont rendus possibles, à l'instar de l'amélioration de la profondeur de champ, par l'augmentation du gain numérique qu'offre la sensibilité des caméras utilisées.

Dans notre étude, les niveaux d'endo-illumination requis pour obtenir une image de qualité suffisante étaient comparables entre les deux systèmes.

Adam et al. ont comparé différents niveaux d'endo-illumination, l'émittance de l'écran UHD correspondant à ces niveaux (flux lumineux émis par une surface lumineuse), ainsi que le confort et

le niveau de visibilité rapportés par le chirurgien. Dans 9 cas sur 10, le chirurgien rapportait pouvoir opérer confortablement lorsqu'un niveau minimum d'endo-illumination de 10 % était utilisé, correspondant à une émittance de $14,3 \pm 9,5$ lux [27].

Vélasque et al. ont récemment publiés les résultats de leur étude nommée « Lux study », s'intéressant à l'hypothèse de réduction significative d'intensité lumineuse délivrée par les systèmes 3D, lors de chirurgies des segments antérieur et postérieur [28]. Ils retrouvent des valeurs d'intensité lumineuse très inférieures à la valeur de référence de 80 % (4,3 lumen), utilisée en microscopie conventionnelle, soit une moyenne de 27,8 % (1,5 lumen) \pm 13,2 % ($p < 0,0001$), toutes chirurgies confondues. Par ailleurs, 80,8 % des chirurgies étudiées ont nécessité moins de 20 % d'intensité lumineuse (0,5 lumen).

Ainsi, l'amplification digitale permise par les systèmes 3D permet de conserver une visualisation chirurgicale de qualité malgré la faible intensité lumineuse incidente.

3- Latence

La latence, correspondant au délai entre l'acquisition de l'image par la caméra HDR du système et la visualisation de cette même image sur l'écran UHD, qui était un des points faibles de cette technologie à ses débuts, s'est améliorée au fur et à mesure du temps. Ce paramètre de latence est une problématique moins présente dans la chirurgie vitréorétinienne du fait de la faible amplitude des mouvements tissulaires et instrumentaux, comparativement à la chirurgie du segment antérieur.

Ta Kim et al. se sont intéressés à l'évaluation des conséquences de la latence dans la performance chirurgicale en chirurgie vitréorétinienne [29]. Selon leurs résultats, pour des niveaux de latence actuellement atteints par les dispositifs 3D (autour de 70 ms), il n'y a pas de conséquence sur le niveau de performance chirurgicale.

Des difficultés dans les tâches de pelage de MLI et de sutures des sclérotomies apparaissent en revanche pour des latences > 120 ms [29].

Les temps de latence rapportés par les constructeurs des deux microscopes sont de 70-80 millisecondes chez Ngenuity™ et inférieurs à 50 millisecondes avec l'Artevo 800™.

Dans l'expérience de l'opérateur de cette étude, les temps de latence des deux systèmes n'étaient pas ressentis en pratique courante.

4- Ergonomie

Sur le plan ergonomique, la distance idéale de positionnement de l'écran face à l'opérateur est de 1,20 m pour le système Ngenuity™ [30] et entre 0,9 m et 1,2 m pour le système Artevo 800™ [31]. Il s'agit de distances suggérées car, à l'heure actuelle, aucune étude n'a été menée afin d'identifier la distance idéale de positionnement de l'écran permettant d'une part de limiter les interférences (induites par l'isolation incomplète des images droites et gauches du système 3D) conduisant à un effet « images fantômes », et d'autre part de délivrer le meilleur confort visuel.

Récemment, Gupta et al. se sont donnés pour objectifs de décrire les variables pouvant être optimisées afin d'améliorer l'ergonomie des systèmes de visualisation « tête haute », et de synthétiser l'ensemble des éléments énoncés plus [32].

Ainsi, l'asthénopie et les troubles liés à l'accommodation seraient d'autant plus fréquents que la distance œil-moniteur est grande, et les cervicalgies d'autant plus présentes que le « viewing tilt » est important (ce qui est notamment le cas dans les interventions menées sur des yeux droits). Le « viewing-tilt » ou VT correspond dans la littérature à l'angle créé par l'axe écran-opérateur et l'axe tête du microscope-opérateur, de l'ordre de 10-15° [32]. Cette contrainte impose une légère rotation de la tête de l'opérateur, source d'éventuelles cervicalgies.

Une visualisation 3D de meilleure qualité est obtenue lorsque l'œil opéré est parfaitement centré sur l'image du moniteur.

La prévalence des cervicalgies dans l'étude de Gupta et Al. était par ailleurs d'autant plus importante que la hauteur du fauteuil de l'opérateur (distance œil-sol) était basse.

Un éclairage ambiant du bloc opératoire légèrement sombre améliorerait la qualité de l'image 3D, sans impact sur la prévalence des troubles oculaires ou des cervicalgies chez l'équipe chirurgicale.

Un des inconvénients ergonomiques associés à l'utilisation des systèmes de visualisation 3D concerne l'aide opératoire, positionné latéralement à l'opérateur [32]. En effet, contrairement à l'usage des oculaires en microscopie conventionnelle (où l'image subit une rotation de 90° pour être orientée dans l'axe de l'assistant), ici l'image 3D est la même pour tous les observateurs et le positionnement de l'assistant rend difficile des manœuvres telles que l'indentation sclérale, la coupe de fils, ou encore le maintien d'un verre contact dans la chirurgie vitréorétinienne. Par ailleurs, la prévalence des cervicalgies semble être plus importante lorsque l'aide opératoire est situé du même côté du patient que l'écran 3D [32].

D'après le retour d'expérience de l'opérateur de cette étude, les deux systèmes 3D Ngenuity™ et Artevo 800™ sont comparables d'un point de vue ergonomique.

5- Filtres numériques

L'utilisation d'un système de visualisation électronique permet également d'apporter des filtres numériques couleurs à l'image. Il est ainsi possible d'ajuster les couleurs de l'écran pour augmenter le contraste dans certaines situations. Par exemple, l'emploi d'un filtre qui permet de modifier les couleurs de l'image en niveaux de gris peut accentuer le contraste sur les rétines avec une faible pigmentation du fond d'œil (atrophie de l'épithélium pigmentaire), notamment chez le myope fort. Selon certains auteurs, ce filtre peut constituer une aide dans le geste de pelage de la MLI [14, 33].

Dans notre étude, ces filtres numériques étaient peu employés, et uniquement avec Ngenuity™.

6- Aspects pratiques

Sur le plan pratique, l'Artevo 800 possède un inverseur numérique intégré et automatisé dans le microscope (en option) alors qu'une manipulation externe, au clavier ou à la pédale, est nécessaire chez Ngenuity. L'opérateur de cette étude a utilisé cet inverseur pour toutes les chirurgies vitréorétiniennes effectuées.

La commande du système 3D à la pédale est simplifiée avec l'Artevo 800™ où elle est intégrée dans la pédale du microscope, alors qu'elle est intégrée dans la pédale reliée à la console de vitrectomie chez Ngenuity™.

La conversion du mode 3D au mode conventionnel (oculaires) est également simplifiée avec l'Artevo 800™, ne nécessitant plus la manipulation du boîtier de caméra fixé sur la partie supérieure du microscope présente chez Ngenuity™.

L'intégration de l'OCT peropératoire directement dans le microscope Artevo 800 rend son utilisation simplifiée en comparaison à Ngenuity (module externe). A noter que le microscope associé à notre système Ngenuity n'étant pas doté du module OCT, nous n'avons pas pu comparer la facilité d'utilisation de l'OCT des deux microscopes.

L'Artevo 800™ permet un mode de visualisation hybride, non présent chez Ngenuity™, qui permet au chirurgien s'il le souhaite d'opérer en microscopie conventionnelle à l'aide d'oculaires, en maintenant une projection 3D sur l'écran 3D-UHD afin que l'équipe chirurgicale puisse profiter des images de l'intervention chirurgicale [34]. Le mode hybride de l'Artevo 800™ est peu utilisé en chirurgie vitréorétinienne au sein de notre structure. Il est principalement utilisé dans la chirurgie du segment antérieur.

7- Enseignement, communication, apprentissage

Les écrans 3D-UHD ont également un intérêt dans les champs de l'enseignement et de la communication, en permettant à toute l'équipe présente au sein du bloc opératoire d'avoir exactement le même champ de vision que l'opérateur, et la même profondeur de champ [3,4]. Cette technologie permet aux internes et chirurgiens débutants de comprendre dans quels plans de l'espace se situent les instruments chirurgicaux, notamment dans le plan vertical. Dans un travail publié en 2011, Packer prend l'exemple du placement du chopper dans la technique chirurgicale du phaco-chop, rendue difficile d'appréciation par la prédominance des mouvements opératoires dans le plan vertical, et dont l'apprentissage est amélioré par la profondeur de champ des systèmes de visualisation 3D [35].

De plus, ces systèmes permettent d'interfacer des données complémentaires d'imagerie (RNM, OCT, angiographie), directement sur l'écran. Cela permet d'une part une meilleure lisibilité de ces données, et d'autre part leur enregistrement combiné avec la vidéo de l'intervention chirurgicale.

Les capacités d'enregistrement et de stockage des vidéos 3D permettent de diffuser avec une grande qualité d'image les interventions chirurgicales lors de rassemblements professionnels ou de cours magistraux.

Rizzo et al. ont évalué le ressenti de l'équipe chirurgicale vis-à-vis de l'utilisation du système de visualisation 3D Ngenuity™, au cours de 200 chirurgies des segments antérieur et postérieur et retrouvent un fort taux de satisfaction de la part de l'ensemble de l'équipe chirurgicale [36]. Cependant, ils notaient que l'assistant du chirurgien pouvait rencontrer des difficultés dans la recherche d'une position confortable, et que l'utilisation d'un écran 3D pouvait entraîner une problématique logistique et d'encombrement, notamment du côté des médecins anesthésistes, dont l'accès au patient peut être rendu plus difficile. De plus, ils rapportent que les systèmes de visualisation 3D devraient avoir un bloc opératoire dédié afin que l'équipement ne soit pas en permanence mobilisé. Dans notre structure, les deux systèmes sont placés dans deux salles différentes dédiées à leur usage. Ils ne sont cependant pas utilisés dans des conditions fixes, la position de l'écran dépendant du type de chirurgie effectuée. Par ailleurs, une réorganisation des salles opératoires a été nécessaire pour un gain de place (changement de bloc pour l'installation du système Ngenuity™ en 2017).

Eckardt et Paulo ont publié des résultats en faveur d'un apprentissage des systèmes de visualisation numériques 3D relativement facile et accessible [4]. Ont été inclus dans leur étude des

participants ayant une expérience chirurgicale ophtalmologique faible ou inexistante. Le retour de leur expérience retrouvait un apprentissage plus simple ou au moins équivalent qu'en chirurgie conventionnelle. Ces résultats ont été également notés dans l'étude de Palacios R. et al, qui comparait le ressenti de quatre chirurgiens opérant successivement à l'aide d'un microscope 3D et d'un microscope conventionnel dans la chirurgie du trou maculaire, ainsi que la courbe d'apprentissage des deux systèmes [8]. La courbe d'apprentissage était ici évaluée par le temps nécessaire pour effectuer la vitrectomie et le pelage de la MLI, et la différence mesurée entre les deux systèmes pour un même chirurgien n'était pas significative. Trois des quatre chirurgiens avaient une expérience chirurgicale inférieure à trois ans.

Dans notre étude, la courbe d'apprentissage du microscope Artevo 800 a été simple, selon notre opérateur. A noter qu'il bénéficiait d'une expérience de 4 ans avec la technologie de microscopie 3D.

C) Limites de l'étude

Une des forces de cette étude qui est l'absence du biais inter-opérateur, évitée par la participation d'un seul chirurgien expérimenté en chirurgie vitréorétinienne en est également une limite. En effet, le retour d'expérience de plusieurs chirurgiens, sous la forme d'un formulaire à remplir en fin de programme, pourrait renforcer la valeur d'une étude future explorant les systèmes de visualisation 3D. Notons par ailleurs que l'opérateur, dans cette étude, avait une expérience avancée dans l'utilisation d'un système de visualisation 3D, opérant à l'aide du système Ngenuity™ depuis quatre ans. Un éventuel biais d'apprentissage lors des premières interventions chirurgicales avec l'Artevo 800™ a pu exister mais a probablement été limité par l'expérience de l'opérateur en microscopie 3D.

La pandémie du COVID-19, source d'une profonde réorganisation du planning opératoire est la source d'un défaut de volume opératoire expliquant notamment des effectifs faibles dans notre étude. En effet, en raison de la restriction de la plage chirurgicale, et de la fermeture de salles opératoires, un grand nombre de chirurgies rétinienne maculaires programmées (trous maculaires, membranes épitréiniennes) ont été annulées. Un grand nombre de chirurgies de décollements de

rétine a été effectué au bloc des urgences du CHU, dont les salles opératoires ne sont pas équipées des systèmes de visualisation 3D.

Dans notre étude, des pathologies complexes et variables, relevant principalement des centres de soins tertiaires, telles que la chirurgie du décollement de rétine tractionnel ou le drainage d'hématomes choroïdiens, n'ont pas été incluses, tant le retentissement sur l'acuité visuelle peut être indépendant de la qualité de la chirurgie effectuée. Notons que l'opérateur utilise dans sa pratique les deux systèmes 3D indépendamment de la complexité et de la longueur des chirurgies vitréorétiniennes envisagées.

Un paramètre de biais potentiel présent dans cette étude est par ailleurs le suivi de l'épaisseur maculaire centrale (après chirurgie de membrane épirétinienne notamment) sur une machine différente de celle utilisée pour mesurer l'épaisseur maculaire pré-opératoire. En effet, un grand nombre de patient a été adressé au CHU afin qu'une chirurgie vitréorétinienne soit effectuée, mais le suivi OCT a ensuite été effectué chez leur ophtalmologiste référent. Ainsi, il n'y a pas de suivi en « follow-up » (comparaison image par image) possible chez ces patients, rendant la variation d'épaisseur maculaire post-opératoire moins précise. Par ailleurs, ce suivi externe est source de difficultés dans l'acquisition des données post-opératoires (perdus de vues, suivi irrégulier).

Au sein du recueil de données, la méthode de recueil de la durée opératoire peut être imprécise. En effet, la durée opératoire est calculée à partir des heures de début et de fin d'intervention. Ces dernières étant inscrites manuellement dans le logiciel Opéra™ (traçabilité de l'heure à chaque étape de l'intervention), un oubli ou un retard dans l'inscription de l'heure a pu exister.

Une panne de l'écran du système Ngenuity a entraîné le changement de ce dernier au cours de l'été 2021, rendant son utilisation impossible sur une courte période. Les interventions chirurgicales, qui étaient effectuées en microscopie conventionnelle, n'ont pas été incluses dans l'étude.

D) Perspectives futures et avancées technologiques

Une des perspectives futures dans le domaine de la microscopie chirurgicale 3D, pour l'instant à un stade précoce de son évolution, est la microscopie 3D avec réalité augmentée [37].

Ici, le chirurgien porte un dispositif embarquant une technologie de réalité augmentée pour créer une image (cf. figures 4 et 5). Le système utilise des caméras stéréoscopiques 3D projetant une vidéo HD dans le moniteur. Le chirurgien peut utiliser sa propre tête comme module de contrôle en effectuant des gestes calibrés de son chef, ou une pédale, afin de modifier l'axe X-Y de la caméra, zoomer, ajuster le focus, passer d'un visuel à un autre. Il s'agit du seul microscope 3D basé sur un système de visualisation de type actif.

Ce système est encore en cours d'évaluation. Les premiers retours d'expérience rapportent une expérience intuitive, avec une courbe d'apprentissage faible. Un usage plus faible de la pédale de contrôle est rapporté du fait de la grande profondeur de champ obtenue avec ce dispositif.

Dans la littérature, peu d'études ont évalué l'efficacité et la sécurité du microscope Beyeonics™. En Avril 2019, Barak et al., dans une étude ayant inclus 34 patients opérés par cinq chirurgiens (neuf patients opérés de cataracte, les autres interventions chirurgicales étant des vitrectomies pour décollement de rétine, hémorragie intravitréenne ou pelage de MER), ont publié des résultats en faveur d'une meilleure résolution d'image et d'une meilleure profondeur de champ de ce dispositif en comparaison avec un microscope traditionnel [38]. Les chirurgiens interrogés rapportaient une plus grande liberté gestuelle.

Des études cliniques comparatives avec les autres systèmes de visualisation 3D existant pourraient apporter dans le futur des données supplémentaires sur l'éventuel intérêt de ce type de dispositif.



Figure 4 : utilisation du microscope Clarity™ (Beyeonics™) au sein d'un bloc opératoire (<https://beyeonics.com/ophthalmic-product/>)



Figure 5 : utilisation du microscope Clarity™ (Beyeonics™) au sein d'un bloc opératoire (<https://beyeonics.com/ophthalmic-product/>)

E) Apport de l'OCT peropératoire (iOCT) en chirurgie vitréorétinienne

La tomographie en cohérence optique (ou OCT pour optical coherence tomography) est une technique d'imagerie médicale non invasive inventée en 1991 par James Fujimoto au Massachusetts Institute of Technology, d'un apport révolutionnaire en ophtalmologie [39]. Elle permet d'obtenir des images en haute résolution du segment postérieur, et de visualiser les couches cellulaires composant la rétine avec une précision quasi-histologique.

Il est devenu très rapidement l'examen de première intention dans le dépistage, le diagnostic et le suivi des maladies rétinienne, avec une extension de son application au segment antérieur [40] puis à l'analyse microvasculaire avec le développement de l'OCT-angiographie (OCT-A) [41].

Plus récemment, l'OCT a investi les blocs opératoires et s'est progressivement intégré à l'arsenal technologique assistant le chirurgien ophtalmologiste. Les premières images peropératoires étaient obtenues par des OCT portatifs ou fixés sur le microscope et nécessitaient un arrêt de la chirurgie pour l'acquisition.

Aujourd'hui plusieurs firmes commercialisent au sein de leur microscope un OCT peropératoire (iOCT) associé ou directement intégré au microscope, permettant une imagerie en temps réel et en haute résolution. L'objectif du développement de cet outil est d'apporter une aide à la décision chirurgicale et d'optimiser les résultats post-opératoires.

Sa faisabilité et son intérêt dans la chirurgie vitréorétinienne ont été évalués dans les études prospectives de grandes cohortes DISCOVER (*Determination Of feasibility of Intraoperative Spectral domain microscope Combined/ integrated OCT Vizualisation during En face Retinal and ophthalmic surgery*) et PIONEER (*Prospective Intraoperative and Perioperative Ophthalmic imagiNg with optical cohErEnce tomogRaphy*) menées par l'équipe du Dr Ehlers à Cleveland.

L'étude PIONEER, large étude prospective observationnelle ayant étudié 256 chirurgies vitréorétiniennes, préférentiellement maculaires, a ainsi mis en évidence que les informations apportées par l'iOCT pouvaient impacter la décision chirurgicale dans de multiples situations au cours de la chirurgie vitréorétinienne [42]. Ainsi, dans 63 des 146 (43%) procédures de pelage de

MER suivies, l'iOCT avait eu un impact sur la compréhension par le chirurgien de la procédure chirurgicale à suivre, notamment afin d'apprécier le caractère complet du pelage de la membrane. Dans 10 des 81 (13%) cas de membranes pelées pour lesquelles le chirurgien était certain du caractère complet de son pelage avant acquisition OCT, l'iOCT avait pu révéler des fragments résiduels de membrane, aboutissant à un complément de procédure (cf. figure 2).

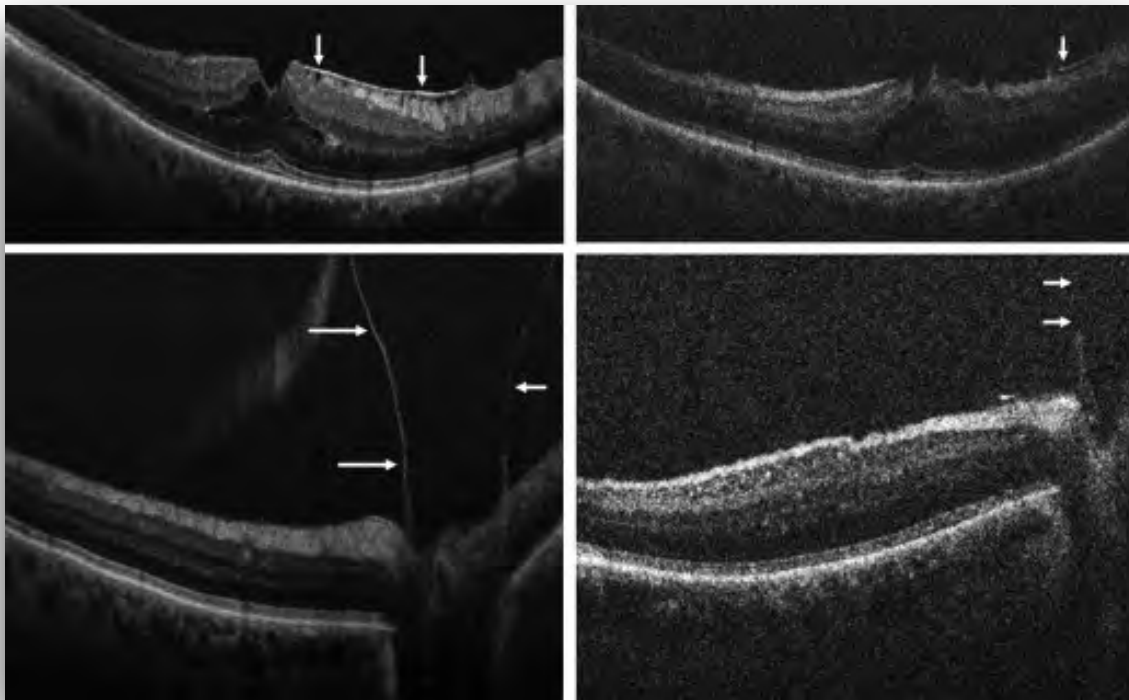


Figure 2 : l'iOCT, aide à la décision chirurgicale : *en haut à gauche*: membrane épirétinienne (flèches blanches), *en haut à droite*: résidus de membrane identifiés après un premier pelage, *en bas à gauche*: hyaloïde postérieure attachée à la papille, *en bas à droite*: confirmation par l'iOCT du décollement de la hyaloïde postérieure [42].

De même, dans les 51 cas sur les 146 étudiés dans lesquels le chirurgien n'était pas sûr du caractère complet du pelage, l'iOCT a apporté une réponse dans 48 cas (94%).

Dans l'étude PIONEER, la durée totale de pause de la chirurgie pour effectuer les acquisitions OCT était de 6,6 minutes (1,0-26,7) avec un temps moyen par acquisition de 3,4 minutes (soit 3 minutes et 24 secondes).

Cette faible durée d'acquisition a cependant été discutée, du fait de la présence systématique au sein du bloc d'un coordinateur de recherche pour faciliter l'utilisation de l'iOCT par le chirurgien.

L'étude DISCOVER, autre étude monocentrique prospective ayant recueilli les données de 227 chirurgies ophtalmologiques, dont 136 chirurgies du segment postérieur, pendant un an, retrouvait des résultats similaires à l'étude PIONEER [43]. L'acquisition d'iOCT a été possible dans 99 % des cas lors des chirurgies effectuées, confirmant la faisabilité de cette technique d'imagerie dans la chirurgie ophtalmologique. Par ailleurs, lors des procédures de pelages de membranes (limitante interne, MER), l'information apportée par l'iOCT concernant le caractère complet du pelage était discordante avec l'impression du chirurgien dans 19 % des cas, affectant ainsi le déroulé chirurgical.

L'OCT peropératoire trouve particulièrement sa place dans le traitement de pathologies rétiniennes chez le myope fort. En effet, la chirurgie du myope fort peut être rendue complexe en raison d'une visibilité moindre, de la présence d'un staphylome,...

Un point précis, concernant l'apport de l'iOCT touche les myopes forts à risque de complications chirurgicales, telle que l'apparition d'un trou maculaire dans les suites immédiates d'un traitement chirurgical de foveoschisis.

Dans une étude observationnelle rétrospective publiée en 2018 par Bruyere et al., incluant un échantillon de 22 yeux myopes forts opérés de MER, TM ou foveoschisis myopique à l'aide d'un OCT peropératoire, l'OCT a permis de détecter l'apparition d'un trou maculaire après pelage dans 2 des 22 yeux (9%) [44]. La vérification immédiate de la présence ou l'absence d'un trou rétinien en fin de chirurgie est une aide précieuse pour guider le chirurgien sur la nécessité ou non d'un tamponnement par gaz. Par ailleurs, elle a aussi mis en évidence la présence de fragments résiduels de MLI après pelage chez 5 yeux sur 21, et de fragments de MER chez 3 des 15 yeux traités pour MER. Cette étude a donc montré la capacité de l'iOCT à détecter des structures épitréiniennes, parfois difficiles à visualiser chez le myope fort, dans les limites d'un échantillon faible.

Par ailleurs, l'efficacité de l'iOCT dans la technique chirurgicale du « *foveal sparing* » (pelage de MLI avec épargne fovéolaire, traitement du rétinoshisis du myope fort) a été évaluée par Atul et al., mettant en évidence son intérêt dans la détection de zones de rétine fovéale fines et fragilisées par des remaniements kystiques devant être épargnées dans le pelage de la MLI, tout en permettant de s'assurer de la suppression de toute traction résiduelle en fin de chirurgie [45].

L'apport de l'iOCT au sein de l'Artevo 800™ n'a pas été évalué dans cette étude. L'acquisition récente de ce microscope, nécessitant un apprentissage dans la capture des images

OCT peropératoires, et la difficulté d'obtenir des images de qualité suffisante dans un temps réduit ne permettent pas actuellement de l'utiliser régulièrement. Un des paramètres qui pourrait être intéressant à intégrer dans de futures études serait alors la durée d'acquisition des images OCT, et leur impact sur le délai opératoire. Par ailleurs, l'utilisation de l'OCT peropératoire par l'opérateur durant l'intervention chirurgicale n'était pas précisée dans le compte-rendu opératoire, ne nous permettant pas d'intégrer cette donnée dans notre recueil. L'opérateur a rapporté dans notre étude une utilisation faible de l'iOCT, ne permettant pas d'évaluer son impact sur les chirurgies effectuées, même si l'Artevo 800 a un avantage certain du fait du caractère intégré de son OCT. Une indication sur son utilisation pendant la chirurgie, et l'éventuel apport de son utilisation (complément chirurgical,...) pourrait être intéressante dans une future publication.

V- Conclusion

Cette première étude comparant les deux systèmes de visualisation chirurgicale 3D Ngenuity et Artevo 800 en chirurgie vitréorétinienne n'a pas permis de mettre en évidence de supériorité de l'un ou l'autre des microscopes sur des critères anatomiques (taux de récurrence de DR, taux de fermeture des TM, diminution de l'épaisseur maculaire centrale après chirurgie de pelage de MER) et de sécurité. Dans notre expérience, les deux systèmes ont un intérêt ergonomique et pédagogique similaire, ainsi qu'une qualité d'image comparable.

La technologie de l'OCT peropératoire est prometteuse, et son intérêt est à évaluer au sein de notre structure.

vu, le Président du Jury
P. Fournis



Vu et permis d'imprimer
Le Président de l'Université Toulouse III – Paul Sabatier
Faculté de Santé
Par délégation,
La Doyenne-Directrice
Du Département de Médecine, Maïeutique, Paramédical
Professeure Odile RAUZY



VI- Abstract

Introduction : Les systèmes de visualisation 3D justifient leur emploi par des améliorations dans les domaines de l'ergonomie, de la profondeur de champ, de la prévention de la phototoxicité par l'emploi de niveaux d'endoillumination bas et de l'enseignement, tout en présentant une courbe d'apprentissage faible. L'efficacité et la sécurité de ces systèmes ont été évaluées par des études comparatives. L'objectif de cette étude est de comparer l'efficacité et la sécurité des systèmes de visualisation 3D Ngenuity et Artevo 800 dans le traitement chirurgical des décollements de rétine, membranes épirétiennes et trous maculaires.

Matériel et Méthodes : Il s'agit d'une étude rétrospective, monocentrique, observationnelle, comparative et longitudinale, menée au CHU de Toulouse, dont l'objectif était de comparer deux groupes opérés sur une même période, entre le 16 Avril 2021 et le 31 Janvier 2022, de décollement de rétine, membrane épirétiennne et trou maculaire à l'aide de l'un des deux systèmes de visualisation 3D inclus au sein du plateau technique du centre: NgenuityTM (3DN) et Artevo 800TM (3DZ).

Résultats : Au total, 37 et 34 yeux ont été inclus respectivement dans les deux groupes. Le taux de récurrence de DR à 6 mois était de 18 % dans les deux groupes comparés ($p = 1,0$). La diminution de l'épaisseur maculaire centrale à 3 mois dans les MER était de $-75,1 \pm 56,8$ μm en moyenne dans le groupe 3DN, et $-97,7 \pm 69,2$ μm dans le groupe 3DZ, sans différence significative ($p = 0,5$). Le taux de fermeture des TM à 3 mois était de 100 % dans les deux groupes. Les durées opératoires et le taux de complications étaient retrouvés sans différence significative entre les deux groupes.

Conclusion : Notre étude n'a pas permis de mettre en évidence de supériorité de l'un ou l'autre des deux systèmes de visualisation chirurgicale 3D Ngenuity et Artevo 800 en chirurgie vitréorétiennne sur des critères anatomiques (taux de récurrence de DR, taux de fermeture des TM, diminution de l'épaisseur maculaire centrale après chirurgie de pelage de MER) et de sécurité. Dans notre expérience, les deux systèmes ont un intérêt ergonomique et pédagogique similaires, ainsi qu'une qualité d'image comparable. La technologie de l'OCT peropératoire est prometteuse, et son intérêt est à évaluer au sein de notre structure.

Bibliographie

- [1] Moshfeghi D, Nadal J, Williams G. Changing your Perspective in the OR. *Insert to Retina Today*. October 2016
- [2] Martínez-Toldos JJ, Fernández-Martínez C, Navarro-Navarro A. Experience using a 3D head-mounted display system in ophthalmic surgery. *Retina*. 2017 (37) : 1419–21.
- [3] Bin Helayel H, AlAkeely A. Can the Three-Dimension Heads-Up Display Improve Ergonomics, Surgical Performance, and Ophthalmology Training compared to Conventional Microscopy. *Clinical Ophthalmology*. 2021(15): 679-686.
- [4] Eckardt C, Paulo EB. Heads-Up Surgery for vitreoretinal procedures: an experimental and clinical study. *Retina* 2016. 36(1): 137-47.
- [5] Shaw C, Bourkiza R, Wickham L, et al. Mechanical exposure of ophthalmic surgeons: a quantitative ergonomic evaluation of indirect ophthalmoscopy and slit-lamp biomicroscopy. *Canadian Journal of Ophthalmology*. 2017 (52) :302–7.
- [6] Freeman W, Chen K, Bartsch D. Resolution, depth of field, and physician satisfaction during digitally assisted vitreoretinal surgery. *Retina* 2019. Sep, 39 (9): 1768-1771.
- [7] Talcott K, Adam M et al. Comparison of a Three-Dimensional Heads-Up Display Surgical Platform with a Standard Operating Microscope for Macular Surgery. *Ophthalmology Rétina*. 2019 Mar.(3): 244-251.
- [8] Palacios R. et al. Learning Curve of three-dimensional heads-up vitreoretinal surgery for treating macular holes: a prospective study. *Intern. Ophthalmol*. Jan. 19(39), 2353-2359.
- [9] Dhimitri KC, McGwin G Jr, McNeal SF, et al. Symptoms of musculoskeletal disorders in ophthalmologists. *Am Journ Ophthalmol*. 2005 (139) : 179–81.
- [10] Hyer JN, Lee RM, Chowdhury HR, Smith HB, Dhital A, Khandwala M
National survey of back and neck pain amongst consultant ophthalmologists in the United Kingdom. *Intern Ophthalmol*. 2015 (35) : 769–775.
- [11] Kitzmann AS, Fethke NB, Baratz KH, Zimmerman MB, Hackbarth DJ, Gehrs KM. A survey study of musculoskeletal disorders among eye care physicians compared with family medicine physicians. *Ophthalmology*. 2012 (119) : 213–220.
- [12] Honavar SG et al. Head up, heels down, posture perfect: ergonomics for an ophthalmologist. *Indian Journal of Ophthalmology*. 2016 (65) : 647–50.
- [13] Wee SW, Moon NJ. Clinical evaluation of accommodation and ocular surface stability relevant to visual asthenopia with 3D displays. *BMC Ophthalmol*. 2014 (14): article 29.
- [14] Kantor P, Soler V et al. Use of the heads-up NGENUITY 3D Visualization System for vitreoretinal surgery: a retrospective evaluation of outcomes in a French tertiary center. *Nature scientific reports*. May 2021 (11) : article 10031.

- [15] Coppola M et al. Heads-up 3D vision system for retinal detachment surgery. *International Journal of Retina Vitreous*. Nov. 2017 (3) : 46.
- [16] Kumar A, Hasan N, Kakkar P, et al. Comparison of clinical outcomes between “heads-up” 3D viewing system and conventional microscope in macular hole surgeries: a pilot study. *Indian Journal of Ophthalmology*. 2018 (66) : 1816–9.
- [17] Savastano A, Ripa M, Rizzo S, et al. Comparison of novel digital microscope using integrated intraoperative OCT with Ngenuity 3D visualization system in phacoemulsification. *Can J Ophthalmol*. 2021 Sept. (22)
- [18] Website: <https://zeiss.com/meditec/int/products/surgical-microscopes/artevo-800/specifications.html>
- [19] Yorston D, Donachie P et al. Factors affecting visual recovery after successful repair of macula-off retinal detachments: findings from a large prospective UK cohort study. *Eye*. 2021 (35) : 1431-1439.
- [20] Mansouri A, Almony A et al. Recurrent retinal detachment: does initial treatment matter? *Br. J. Ophthalmol*. 2010 (94) : 1344-1347.
- [21] Steel D.H, Donachie P, et al. Factors affecting anatomical and visual outcome after macular hole surgery: findings from a large prospective UK cohort. *Eye*. 2021 (35) : 316-325.
- [22] Brooks jr H. Macular hole surgery with and without internal limiting membrane peeling. *Ophthalmology*. 2000 Oct. (10) : 1939-48.
- [23] Guber et al. Outcomes after epiretinal membrane surgery with or without internal limiting membrane peeling. *Ophthalmology and therapy*. 2019 (8) : 297-303.
- [24] Coppola M, Bandello F, et al. Importance of Light filters in modern Vitreoretinal Surgery: An update of the literature. *Ophthalmic research*. 2017 (58) : 189-193.
- [25] Van den Biesen PR, Berenschot T, Verdaasdonk RM, van Weelden H, van Norren D. Endoillumination during vitrectomy and phototoxicity thresh-olds. *Br J Ophthalmol*. 2000 (84) : 1372–5.
- [26] Glickman R. Phototoxicity to the retina: mechanisms of damage. *International Journal of Toxicology*, Nov-Dec 2022. 21(6): 473-490.
- [27] Adam MK, Thornton S, Regillo CD, et al. Minimal endoillumination levels and display luminous emittance during three-dimensional heads-up vitreoretinal surgery. *Retina*. 2017 (37) : 1746–9.
- [28] Vélasque L., Arbousouff N, Seguy C, et al. Lux study: Contribution of a three-dimensional, high dynamic range, ultra-high-definition heads-up visualization system to a significant delivered light intensity decrease during different types of ocular surgeries. *J Fr Ophthalmol*. 2021 Oct. 44(8) : 1129-1141.
- [29] Ta Kim D, Chow D. The Effect of Latency on Surgical Performance and Usability in a three-dimensional heads-up display visualization system for vitreoretinal surgery. *Graefe’s Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*. 2022 (260) : 471-476.

- [30] NGENUITY™ 3D Visualization System. MyAlcon Professional: [//professional.myalcon.com/vitreoretinal-surgery/visualization/ngenuity-3d-system/](http://professional.myalcon.com/vitreoretinal-surgery/visualization/ngenuity-3d-system/)
- [31] Kaur M, Titiyal JS et al. Three-dimensional heads up display in anterior segment surgeries: expanding frontiers in the Covid-19 era. *Ind J Ophthalmol*. 2020 (68) : 2338-40.
- [32] Gupta Y, Tandon R et al. Optimization of surgeon ergonomics with three-dimensional heads-up display for ophthalmic surgeries. *Ind J Ophthalmol*. 2022 Mar. 70 (3) : 847-850.
- [33] Palacios R., Kayat K., Matonti F. et al. Clinical Study on the Initial Experiences of French Vitreoretinal Surgeons with Heads-up surgery. *Current Eye Research*. 2020 Oct.45(10) : 1265-1272.
- [34] site internet de la firme Zeiss: www.zeiss.fr/meditec/wbc/produits/cataracte/artevo-800
- [35] Packer M. Truevision 3D HD for teaching and training. *Cataract and Refractive Surgery Today*, 2011. 11(3) : 41-2.
- [36] Rizzo S, Abbruzzese G, Savastano A, et al. 3D surgical viewing system in ophthalmology: perceptions of the surgical team. *Retina*. 2018 (38) : 857–61.
- [37] Grodsky J, Asghari H. The pros and cons of 3D visualization. *Retina today*. April 2022.
- [38] Barak A, Loewenstein A. Primary results of clinical use of the Beyeonics digitally enhanced surgical visualization system in cataract and vitreoretinal surgery: a prospective study. *Investigative Ophthalmology and visual Science*, Aug.2019 (60).
- [39] Gaudric A. Rapport de la Société Française d’Ophtalmologie, 2019, partie I, chapitre 1: Introduction.
- [40] Baudouin C, Labbé A, Touboul D. Rapport de la Société Française d’Ophtalmologie, 2019, partie II, chapitre 3 : OCT du segment antérieur.
- [41] Spaide RF, Fujimoto JG, Waheed NK, et al. Optical coherence tomography angiography. *Progress in retinal and eye research*. 2018 May (64) : 1-55.
- [42] Ehlers J, Dupps W, Srivastava S et al. The prospective intraoperative and perioperative imaging with optical coherence tomography (PIONEER) study: 2-years results. *Am J Ophthalmol*. 2014 Nov; 158 (5) : 999-1007.
- [43] Ehlers J, Goshe J, Dupps W et al. Determination of feasibility and utility of microscope-integrated optical coherence tomography during ophthalmic surgery: the DISCOVER Study RESCAN Results. *JAMA Ophthalmol*. 2015 Oct; 133 (10) : 1124-32.
- [44] Bruyere E, Philippakis E, Dupas B et Al. Benefit of intraoperative optical coherence tomography for vitreomacular surgery in highly myopic eyes. *Retina*. 2018 Oct; 38(10) : 2035-2044.
- [45] Atul K, Raghav R, Chirakshi D et al. Outcomes of microscope-intraoperative coherence tomography-guided center-sparing internal limiting membrane peeling for myopic traction maculopathy: a novel technique. *Int Ophthalmol*. 2018 Aug; 38(4) : 1689-1696.

COMPARAISON DE L'EFFICACITE ET DE LA SECURITE DES SYSTEMES DE VISUALISATION CHIRURGICALE 3D NGENUITY™ ET ARTEVO 800™ EN CHIRURGIE VITREORETINIENNE AU SEIN DU CHU DE TOULOUSE

Introduction : L'objectif de cette étude est de comparer l'efficacité et la sécurité des systèmes de visualisation 3D Ngenuity et Artevo 800 dans le traitement chirurgical des décollements de rétine, membranes épirétiniennes et trous maculaires et d'apporter un retour sur expérience de leur utilisation au CHU de Toulouse.

Matériel et Méthodes : Il s'agit d'une étude rétrospective, monocentrique, observationnelle, comparative et longitudinale, menée au CHU de Toulouse, dont l'objectif était de comparer deux groupes opérés sur une même période, entre le 16 Avril 2021 et le 31 Janvier 2022, de décollement de rétine, membrane épirétinienne et trou maculaire à l'aide de l'un des deux systèmes de visualisation 3D inclus au sein du plateau technique du centre: Ngenuity™ (Alcon) et Artevo 800™ (Zeiss).

Résultats : Au total, 37 et 34 yeux ont été inclus respectivement dans les deux groupes. Le taux de récurrence de DR à 6 mois, la diminution de l'épaisseur maculaire centrale à 3 mois dans les MER ainsi que le taux de fermeture des TM à 3 mois, ainsi que les durées opératoires et le taux de complications étaient statistiquement comparables entre les deux groupes étudiés.

Conclusion : Notre étude n'a pas permis de mettre en évidence de supériorité de l'un ou l'autre des deux systèmes de visualisation chirurgicale 3D Ngenuity et Artevo 800 en chirurgie vitréorétinienne sur des critères anatomiques (taux de récurrence de DR, taux de fermeture des TM, diminution de l'épaisseur maculaire centrale après chirurgie de pelage de MER) et de sécurité.

TITRE EN ANGLAIS : COMPARISON OF THE EFFICACY AND SAFETY OF NGENUITY™ AND ARTEVO 800™ MICROSCOPES IN VITREORETINAL SURGERY AT THE TOULOUSE UNIVERSITY HOSPITAL

DISCIPLINE ADMINISTRATIVE : Médecine spécialisée clinique

MOTS-CLÉS : chirurgie 3D, chirurgie vitréorétinienne, décollement de rétine, trou maculaire, membrane épirétinienne, OCT peropératoire, ergonomie

INTITULÉ ET ADRESSE DE L'UFR OU DU LABORATOIRE :

Université Toulouse III-Paul Sabatier
Faculté de médecine Toulouse-Purpan,
37 Allées Jules Guesde 31000 Toulouse

Directeur de thèse : Pr Vincent SOLER