
UNIVERSITÉ DE STRASBOURG
FACULTÉ DE MÉDECINE, MAÏEUTIQUE ET SCIENCES
DE LA SANTÉ

ANNÉE : 2023

N° : 156

THÈSE
PRÉSENTÉE POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT
DE DOCTEUR EN MÉDECINE
Diplôme d'État Mention Chirurgie Vasculaire

PAR

Nom et prénom : TREIL Lucille

Date et lieu de naissance : 24/06/1995 à Lyon 08

LES METRIQUES DETERMINANT LA QUALITE
D'UNE ANASTOMOSE VASCULAIRE
POUR UN PROGRAMME D'EDUCATION

Président de thèse : Professeure Anne LEJAY

Professeur Directeur de thèse : Professeur Nabil CHAKFE

C - ENSEIGNANTS ASSOCIÉS DE MÉDECINE GÉNÉRALE

CS - PROFESSEURS ASSOCIÉS DES UNIVERSITÉS DE MÉDECINE GÉNÉRALE (mi-temps)

Dr J. COMBES
 Dr M. GUYOT
 Dr M. LECHEVRE
 Dr M. GILLES
 Dr M. HÉROLD
 Dr A. MOREL

CC - MAÎTRES DE CONFÉRENCES DES UNIVERSITÉS DE MÉDECINE GÉNÉRALE - TITULAIRE

Dr J. GUYOT
 Dr J. HÉROLD

CC - MAÎTRES DE CONFÉRENCES ASSOCIÉS DES UNIVERSITÉS DE MÉDECINE GÉNÉRALE (mi-temps)

Dr M. GUYOT
 Dr M. LECHEVRE
 Dr M. GILLES
 Dr M. HÉROLD
 Dr A. MOREL

E - PRATIENS HOSPITALIERS - CHEFS DE SERVICE NON UNIVERSITAIRES

Dr J. GUYOT	Service de médecine générale Service de médecine générale - hôpital de la Croix-Rouge
Dr J. HÉROLD	Service de médecine générale - hôpital de la Croix-Rouge Service de médecine générale - hôpital de la Croix-Rouge
Dr M. LECHEVRE	Service de médecine générale Service de Pharmacie - hôpital de la Croix-Rouge
Dr M. GILLES	Service de médecine générale - hôpital de la Croix-Rouge Service de Pharmacie - hôpital de la Croix-Rouge
Dr M. HÉROLD	Service de médecine générale - hôpital de la Croix-Rouge (PMT) Service de médecine générale - hôpital de la Croix-Rouge (PMT)
Dr J. COMBES	Service de médecine générale - hôpital de la Croix-Rouge Service de médecine générale - hôpital de la Croix-Rouge
Dr M. MOREL	Service de médecine générale - hôpital de la Croix-Rouge Service de médecine générale - hôpital de la Croix-Rouge
Dr M. GUYOT	Service de médecine générale - hôpital de la Croix-Rouge Service de médecine générale - hôpital de la Croix-Rouge
Dr M. LECHEVRE	Service de médecine générale - hôpital de la Croix-Rouge Service de médecine générale - hôpital de la Croix-Rouge
Dr M. GILLES	Service de médecine générale - hôpital de la Croix-Rouge Service de médecine générale - hôpital de la Croix-Rouge
Dr M. HÉROLD	Service de médecine générale - hôpital de la Croix-Rouge Service de médecine générale - hôpital de la Croix-Rouge
Dr M. MOREL	Service de médecine générale - hôpital de la Croix-Rouge Service de médecine générale - hôpital de la Croix-Rouge

SERMENT D'HIPPOCRATE

En présence des maîtres de cette école, de mes chers condisciples, je promets et je jure au nom de l'Être suprême d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité dans l'exercice de la médecine. Je donnerai mes soins gratuits à l'indigent et n'exigerai jamais un salaire au-dessus de mon travail.

Admise à l'intérieur des maisons, mes yeux ne verront pas ce qui s'y passe.

Ma langue taira les secrets qui me seront confiés et mon état ne servira pas à corrompre les mœurs ni à favoriser les crimes.

Respectueuse et reconnaissante envers mes maîtres je rendrai à leurs enfants l'instruction que j'ai reçue de leurs pères.

Que les hommes m'accordent leur estime si je suis restée fidèle à mes promesses. Que je sois couverte d'opprobre et méprisée de mes confrères si j'y manque.

REMERCIEMENTS

A mes maitres

A Monsieur le Professeur Chakfé, merci de m'avoir guidé dans ce projet de recherche, d'abord avec un master puis avec cette thèse. Merci pour votre enseignement clinique, chirurgical et scientifique depuis mon premier semestre. Je mesure ma chance de pouvoir être formée selon les valeurs de l'école strasbourgeoise de chirurgie vasculaire. Votre implication dans la formation de vos internes nous transmet votre rigueur de travail et votre passion pour la recherche. Merci pour votre disponibilité tout au long de ce travail qui, j'espère, n'est que le début pour la simulation strasbourgeoise.

A Madame la Professeure Lejay, merci de me faire l'honneur de présider mon jury de thèse. J'admire l'étendue de votre savoir tant médical que chirurgical et je suis fière de pouvoir effectuer ma formation à vos côtés. Merci pour votre disponibilité et votre participation à ce projet.

A Monsieur le Professeur Duprey, merci de l'honneur que vous me faites en faisant partie de mon jury de thèse. Merci de m'avoir accueillie dans votre service pendant 6 mois et de m'avoir transmis vos connaissances chirurgicales et cliniques. Merci pour votre soutien et votre participation dans ce projet de recherche.

A Monsieur le Professeur Thaveau, merci d'avoir accompagné mes premiers pas en chirurgie et de m'avoir transmis votre rigueur de travail mais aussi pour votre écoute lors de mes premiers semestres. Je vous remercie de m'avoir fait découvrir la chirurgie robotique en chirurgie vasculaire.

A Madame la Docteure Steinmetz, merci d'avoir fait le choix de venir transmettre ton savoir et ton expérience dans notre service. J'espère continuer à progresser à tes côtés et pouvoir apprendre le maximum de ton expérience dans ta vie d'avant.

A Monsieur le Docteur Fabre, merci d'avoir pris le risque d'engager une aide-opératoire en 2^{ème} année de médecine et de m'avoir fait découvrir la chirurgie vasculaire. Je me suis engagée sur cette voie grâce à vous et je remercie ce choix tous les jours.

A mes chefs

A Salomé, tout d'abord merci d'avoir accepté de me faire l'honneur d'intégrer mon jury de thèse. Ta présence aujourd'hui est ... Merci pour les pep-talk dans ton bureau, les invitations à diner et les trajets pour HautePierre au son de TS. Merci pour ta bonne humeur, ton engagement pour le service qui nous inspire tous et ta pédagogie qui me fait progresser tous les jours. Merci de m'accompagner pour mes premiers pas en solo au bloc opératoire toujours avec un œil bienveillant.

A Charline, merci d'avoir montré à la jeune interne que j'étais, comment ça fonctionne dans ce monde si exigeant. Tes conseils me restent en tête, tout comme ta volonté inarrêtable quand il s'agissait de pousser un malade au bloc. Te voir t'épanouir dans ta vie d'après et continuer à chercher à te dépasser est une source d'inspiration.

A Emilie, merci de m'avoir mis sur la bonne voie gentiment mais fermement en ce début d'internat. Les discussions baskets léopards et les gens pas mignons sont restés à Strasbourg quand tu es partie mais le plaisir de te savoir heureuse en Gironde compense l'absence.

A Benjamin, merci d'avoir supporté les cassages de fils sur les sutures de patch interminables, et les ratés du début d'internat avec le sourire. Ton petit côté suisse m'a permis de me sentir à la maison en arrivant à Strasbourg

A Ioan, merci de m'avoir appris patiemment pour mes premiers pas en tant qu'interne et de m'avoir transmis les principes de tes chefs roumains. Je n'oublie nos soirées au Bunny's ou les diners avec les gâteaux ratés mais j'ai très hâte de recommencer.

A Charlotte, merci de m'avoir transmis ton amour de la chirurgie thoracique toujours avec humour et bonne humeur. Malgré les greffes interminables et les PMO tendus, nous aurons pu profiter des soirées à la Trattoria ou sur le balcon.

A Jubran, merci de partager ton expérience hors du commun avec nous.

A Bogdan, merci pour ta confiance, merci pour ma première greffe et merci de nous rappeler à l'ordre par la fenêtre quand on s'excite trop au bureau. Je te souhaite le meilleur pour la suite (même si c'est à Mulhouse).

A Jonathan, d'abord cointerne, devenu chef, tu es la première personne qui m'a accueilli à Strasbourg et depuis que d'aventures ! Entre les soirées déchainées, les blocs de 12 heures et ton humour particulier, je peux honnêtement dire que tu me manqueras l'année prochaine quand tu seras à Mulhouse.

A mes chefs rémois, Charlotte, Laurent, Vincent, Tristan et Nicolas, merci de m'avoir accueillie le temps d'un semestre.

A mes cointernes

A Arielle, ma cointerne de vascu, la force tranquille, la meilleure ! Merci pour ton soutien et ton accompagnement tout au long de cet internat. On s'est créé une petite bulle dans laquelle on s'est épanoui professionnellement et personnellement et j'ai hâte de poursuivre ce chemin avec toi !

A Chloé, la meilleure des meilleures ! Ton amitié sans faille, ton humour au top (c'est toi la poule) et ta gentillesse m'ont permis de surmonter les épreuves de l'internat. Vive nos mardis mojitos, les carnivals à la Nouvelle-Orléans et les repas débrief' et surtout au plaisir de vivre pleins de nouvelles aventures ensemble !

A Mylène, l'originale ! La plus folle de mes rencontres, ton énergie et ton goût de la vie m'inspire tous les jours pour me lancer dans de nouvelles aventures. Du traquenard Sagnard aux soirées confessions aux repas en garde, j'espère que ça continuera longtemps !

A Elisabeth, mon orthopédiste préférée ! On aura survécu au COVID ensemble, ce moment bizarre où le monde était un peu chamboulé et on aura continué à maintenir une amitié malgré la réouverture du monde. Nos petits repas et nos discussions au restaurant sont des moments que je chérirai toujours.

A Pascaline, la licorne du vasculaire. J'ai hâte que tu reviennes de ton tour du monde pour nous raconter toutes tes aventures et que tu remettes ce petit brin de folie dans nos vies.

A Maxence, la vieille âme. Tu me surprendras toujours avec tes playlists rétro et tes blagues improbables. Que de fous rires ce semestre, merci pour ton écoute attentive quand j'ai eu besoin d'une oreille.

A Candice, petite dernière du vasculaire tu as su apporter un petit rayon de soleil avec toi ! J'ai hâte d'apprendre à te connaître plus au fur et mesure des semestres.

A Thomas et Aurélien, les chirurgiens digestifs le plus fous ! Quel semestre en chirurgie digestive on aura fait !

A Thibaut, Michel, Clémentine et les internes de Reims, merci de m'avoir fait découvrir votre monde le temps d'un semestre et pour votre amitié persistante.

A Claire Lise et Anne Florence, merci d'avoir su encadrer mes premiers pas chirurgicaux et de m'avoir transmis les bases de la formation chirurgicale.

A Pierre, Grégoire, Tiphaine, Marie, Baptiste, Mekki, merci de m'avoir supporté pendant cette période de préparation de thèse et d'avoir toujours su m'apporter le sourire.

A Elisa, mia amica italiana. Quelle belle rencontre cette année, j'espère avoir pu te faire découvrir Strasbourg et t'avoir aidé à profiter de ton temps en France. Merci pour ton aide sur ce projet et nos soirées à discuter et travailler sur nos recherches respectives. J'ai hâte de te voir à Parma !

Aux IDE, IBODE, IADE, AS, secrétaires, manip radio...

Aux Infirmières et AS du service qui nous permettent à tous d'apprendre énormément à leur contact et savent montrer de la patience face à nos indécisions du début (et même du un peu moins début). Merci à toutes pour votre engagement pour nos patients : Céline, Alexia, Huguette, Pauline, Marie, Nathalie, Gaëlle, Manon, Huguette, Sylvia, Justine, Essadia, Anissa, Zarlisht.

A Marie, Ines et Valentine, plus que des collègues merci d'avoir été des amies tout au long de cette formation et de m'avoir soutenue lors des longues nuits et des moments de doutes. Les moments que nous avons partagés, je les chérirai longtemps.

A l'équipe anesthésique du T1, aux IBODE, aux IADE et manips radio pour leurs conseils lors des débuts aux blocs et les nuits passées ensemble à opérer les urgences les plus folles : Isa, Constant, Sophie, Thuy, Christelle, Kristelle, Estelle, Chloé, Laura, Pauline, Tania, Valentine, Meryam, Camille, Nathalie, Justine, Monique, Emma, Eva, Joanna, Emilie, Maxime, Lionel, Marie-Pascale, Mylène, Julien, Benoit, Jean-Francois, Gidrus, Faustine, Audrey, Cécile, Jack-Antoine et tous ceux que j'oublie sûrement ! Merci pour votre part dans ma formation.

A toute l'équipe du Gepromed

A Nicole, Wissal, Jeannette, Manon, Julien et tous le reste de l'équipe, merci d'avoir rendu ce travail de thèse possible. Votre dynamisme et vos idées sont une des forces de notre service et travailler à vos cotés m'a permis de compléter ma formation scientifique.

A mes amis

Aux amies du lycée qui sont là depuis le début, qui ont suivi toutes mes phases sans flancher. Amélie, où que l'on soit dans le monde, notre amitié reste vraie et je suis extrêmement heureuse de t'avoir plus proche de moi ces dernières années (merci Cyril !). Marie et Audrey, nous n'avons pas pu nous voir assez ces dernières années mais j'espère y remédier !

A Laury, Mathilde B, Charlotte, Charlène, Justine, Camille, Mathilde V, mes copines de la fac avec lesquelles j'ai survécu à l'ECN. Vous voir vous épanouir dans votre vie est une source d'inspiration continue.

To Paige, thank you for being the one friend I needed in NOLA to make this experience amazing. I will always remember our nights dancing in front in the TV but I still think the American football could be neon pink ! I hope to see you and Doc soon, sister from other misters' !

A Marion V., présente depuis le premier jour en chirurgie même si nous n'avons jamais été cointerne, ton soutien et ton amitié m'ont permis d'avancer dans tous les moments durs. Merci de faire partie de mon univers strasbourgeois et de m'avoir fait rêver avec tes aventures cette année !

Au Schneckle, Lorane, Caroline, Martine, Stessy, Marion T, Marion H, Marie-Laurence, Vinh, Louis, PA, Arne et au reste de mes amis strasbourgeois Thibaut, Antoine, Léonard, Anne-Sophie merci de m'avoir aidé à me sentir à la maison à Strasbourg. Hâte de continuer à partager des choses avec vous !

A ma famille

A mes parents, merci pour votre soutien sans faille tout au long de mes études. J'ai la chance de pouvoir m'épanouir en sachant que vous serez toujours là pour me soutenir dans les moments durs ou les moments de doute. Vous avez su me montrer ce que j'étais capable de faire en me transmettant vos valeurs du travail et de la famille. Je vous remercie d'être les personnes que je peux appeler à n'importe quelle heure du jour et de la nuit. J'espère vous rendre fière avec ce travail mais surtout avec la personne que je deviens.

A mon frère Léonard, merci pour ton aide sur la portion informatique de ce projet et surtout merci d'être toujours là pour moi ! Je suis très heureuse de te voir trouver ta voie et t'épanouir, et j'espère que nous arriverons toujours à garder ce lien. Petite dédicace à ta Marie pour sa gentillesse et tout le bonheur qu'elle t'apporte.

A ma chère Mamy Yvette, ma colloc' pendant 6 ans, ma grand-mère chérie. Tu me manques toujours autant le soir quand je rentre du travail, mais je te remercie pour tes conseils que j'essaie encore d'appliquer au jour le jour.

A Mamoune, toujours là pour discuter film ou série télé ou pour discuter tout court. Je suis vraiment chanceuse d'avoir ton soutien dans ma formation mais aussi ma vie personnelle. J'ai hâte de enfin venir voir cet opéra à Paris !

A Papy et Francine, bien que plus loin géographiquement, vous êtes toujours au bout du téléphone et je vous en remercie. Merci de m'avoir transmis votre amour de la montagne, de l'escalade et du dépassement de soi (même si on n'a pas rendu ça toujours facile !).

A tous mes cousins et cousines, le clan Weltert, merci de m'avoir accompagné tout au long de cette épopée de ma formation et d'avoir toujours su me redonner le sourire. On se voit forcément moins depuis que je suis à Strasbourg mais les sentiments restent les mêmes. Petite dédicace à ma cousine Constance qui rédigera elle aussi des remerciements dans quelques années, je suis extrêmement fière de toi.

TABLES DES MATIERES

I.	INTRODUCTION	28
I.A.	Evolution en éducation chirurgicale : pourquoi la simulation ?	29
I.A.1.	Evolution historique en éducation chirurgicale	29
I.A.2.	Considérations éthiques en éducation chirurgicale	30
I.B.	Simulation en chirurgie vasculaire ouverte	31
I.B.1.	Simulateurs en chirurgie vasculaire ouverte	31
I.B.2.	Programmes de simulation en chirurgie vasculaire ouverte	32
I.B.3.	Evaluations des simulations en chirurgie ouverte	33
I.C.	Simulation en chirurgie endovasculaire	35
I.C.1.	Simulateurs en chirurgie endovasculaire	35
I.C.2.	Programmes de simulation en chirurgie endovasculaire	36
I.C.3.	Evaluation des simulations en chirurgie endovasculaire	37
I.D.	Objectifs	38
I.D.1.	Les métriques en chirurgie vasculaire ouverte	38
I.D.2.	Objectifs de l'étude	39
II.	MATERIEL ET METHODES	40
II.A.	Population	40
II.B.	Déroulement de l'étude	40
II.C.	Evaluation OSATS	42
II.D.	Test de Perfusion des anastomoses	43
II.D.1.	Description du système de perfusion	43
II.D.2.	Test de perfusion	45
II.E.	Recueil des métriques de mouvement	45
II.F.	Recueil des métriques de suture	46
II.G.	Analyse statistique	48

III.	RESULTATS	49
III.A.	Description de la population	49
III.B.	Évaluation du niveau de stress	50
III.C.	Évaluation OSATS	50
III.C.1.	Résultats des évaluations OSATS	50
III.C.2.	Représentativité du Score Total et du Niveau Global sur la performance.....	54
III.C.3.	Corrélation inter-évaluateurs	56
III.D.	Test de perfusion	62
III.D.1.	Discrimination du test de perfusion.....	62
III.D.2.	Corrélation de la métrique de perfusion avec les scores OSATS	63
III.E.	Analyse du mouvement.....	67
III.E.1.	Discrimination des métriques de mouvement	67
III.E.2.	Corrélation des métriques de mouvement aux OSATS scores	77
III.F.	Analyse de la suture	83
III.F.1.	Comparaison des métriques de suture avec et sans suture en tension.....	83
III.F.2.	Discrimination des métriques de suture	84
III.F.3.	Corrélation des métriques de suture aux scores OSATS	95
IV.	DISCUSSION	101
IV.A.	Résultats.....	101
IV.B.	Résultats secondaires	102
IV.B.1.	Métriques représentatives de la qualité de la performance dans le groupe Intermédiaire	102
IV.B.2.	Métrique représentative de la qualité du produit fini et relation avec les métriques de la qualité des performances	103
IV.B.3.	Étude de la variabilité de l'évaluation par checklist OSATS.....	103
IV.C.	Validité externe de nos résultats.....	104
IV.D.	Limites	105
IV.E.	Perspectives.....	106

V. CONCLUSION.....	107
VI. BIBLIOGRAPHIE	108

TABLES DES TABLEAUX

Tableau 1 : Description de la population.....	49
Tableau 2 : Score de Stress et Score de Fatigue déclarés par les participants au début de l'épreuve de suture.	50
Tableau 3 : Moyenne des scores attribués par chaque évaluateur pour les participants du groupe expert.	51
Tableau 4 : Moyenne des scores attribués par chaque évaluateur pour les participants du groupe intermédiaire.....	52
Tableau 5 : Moyenne des scores attribués par chaque évaluateur pour les participants du groupe débutant.	53
Tableau 6 : Test de corrélation pour les items de la Checklist OSATS contre le Score Total et le Niveau Global de chaque évaluateur et les scores moyens.....	55
Tableau 7 : Test de corrélation inter-évaluateurs pour chaque item de la checklist OSATS, le Score Total et le Niveau Global.....	56
Tableau 8 : Volume de Fuite Anastomotique en fonction des groupes de niveau.	62
Tableau 9 : Test de corrélation pour le Volume de Fuite Anastomotique et les items « Respect des Tissus » et « Qualité du Produit Fini ».....	64
Tableau 10 : Test de corrélation pour le Volume de Fuite Anastomotique et le Score Total et le Niveau Global.	64
Tableau 11 : Test de corrélation pour le Volume de Fuite Anastomotique et les items restants de la checklist OSATS.....	66

Tableau 12 : Durée de l'exercice par groupe de niveau.	67
Tableau 13 : Nombre d'utilisation de la main sans instrument par exercice par groupe de niveau.	68
Tableau 14 : Métriques de mouvement du porte-aiguille en fonction des groupes de niveau.	70
Tableau 15 : Métriques relatives à la durée IN du porte-aiguille par groupe de niveau.	72
Tableau 16 : Variance de la Durée Totale de IN en fonction des groupes de niveau.	74
Tableau 17 : Métriques relatives à la durée OUT du porte-aiguille par groupe de niveau.....	74
Tableau 18 : Variance de la Durée Totale de OUT en fonction des groupes de niveau.....	75
Tableau 19 : Test de corrélation pour les métriques de mouvement discriminantes et les items les plus directement liés à ces métriques dans la checklist OSATS.	77
Tableau 20 : Test de corrélation pour les métriques de mouvement discriminantes et le Score Total et le Niveau Global.....	78
Tableau 21 : Test de corrélation pour les métriques de mouvement discriminantes et les items restants de la checklist OSATS.....	81
Tableau 22 : Métriques de suture présentées avec et sans suture en tension.....	83
Tableau 23 : Métriques de suture générales en fonction des groupes de niveau.....	84
Tableau 24 : Métrique de suture avec le fil en tension présentées par groupe de niveau.....	87
Tableau 25 : Métrique de suture sans le fil en tension présentées par groupe de niveau.	91
Tableau 26 : Test de corrélation pour les métriques de suture discriminantes et les items les plus directement liés à ces métriques dans la checklist OSATS.	95

Tableau 27 : Test de corrélation pour les métriques de suture discriminantes et le Score Total et le Niveau Global..... 97

Tableau 28 : Test de corrélation pour les métriques de suture discriminantes et les items restants de la checklist OSATS. 99

TABLES DES FIGURES

Figure 1 : A. Simulateur de suture aortique et installation pour la réalisation de l'anastomose ; B. Positionnement du participant par rapport au simulateur au début de chaque anastomose.	41
Figure 2 : Checklist OSATS utilisée dans cette étude.	42
Figure 3 : A. Colonne de perfusion permettant une perfusion continue à 120mmHg B. Montage pour la perfusion des anastomoses permettant le calcul de VFA.	44
Figure 4 : A. Photos prises des anastomoses avec (gauche) et sans (droite) suture en tension ; B. Photos des anastomoses avec (gauche) et sans (droite) suture en tension après analyse pour le recueil des métriques de suture.	47
Figure 5 : Nuage de point 3D du Score Total par les trois évaluateurs.	57
Figure 6 : Histogramme de distribution des participants selon les évaluateurs et les groupes de niveau. A. Niveau Global ; B. Score Total (présentés en quatre rangs de score).	59
Figure 7 : Carte thermique présentant le score individuel de chaque participant sur les items de la checklist OSATS, selon l'évaluateur et le groupe de niveau.	61
Figure 8 : Comparaison des intervalles de moyenne du Volume de Fuite Anastomotique par groupe de niveau.	63
Figure 9 : Nuage de points du Volume de Fuite Anastomotique en fonction du Score Total moyen de la checklist OSATS.	65
Figure 10 : Comparaison des intervalles de moyenne entre les groupes de niveau : Durée de l'Exercice.	68
Figure 11 : Comparaison des intervalles de moyenne entre les groupes de niveau : Nombre d'Utilisation de la Main sans Instrument.	69

Figure 12 : Comparaison des intervalles de moyenne entre les groupes de niveau : Nombre de IN, Nombre de OUT du porte-aiguille.	71
Figure 13 : Comparaison des intervalles de moyenne entre les groupes de niveau : Durée Totale de IN, Durée de IN.	73
Figure 14 : Nuages de points des métriques de mouvements discriminantes en fonction du Score Total moyen.	79
Figure 15 : Comparaison des intervalles de moyenne entre les groupes de niveau : Nombre de Point par Exercice.	85
Figure 16 : Comparaison des intervalles de moyenne entre les groupes de niveau : Nombre de Points Multiples.....	86
Figure 17 : Comparaison des intervalles de moyenne des métriques de suture avec fil en tension en fonction des groupes de niveau.	89
Figure 18 : Comparaison des intervalles de moyenne des métriques de suture sans fil en tension en fonction des groupes de niveau.	93

LISTE DES ABBREVIATIONS

OSATS : Objective Structured Assessment of Technical Skills checklist

VIST : Vascular Intervention System Trainer simulator

FEVS : Fundamentals for EndoVascular Surgery

ESVB : European Symposium on Vascular Biomaterials

GE : Groupe Expert

GI : Groupe Intermédiaire

GD : Groupe Débutant

ePTFE : polytetrafluoroethylene expansé

VFA : Volume de Fuite Anastomotique

IN : Nombre d'entrées du porte-aiguille dans le champ opératoire

OUT : Nombre de sortie du porte-aiguille du champ opératoire

RdT : Respect des Tissus

TeM : Timing et Mouvement

GdI : Gestion des Instruments

NeS : Nœuds et Sutures

UAO : Utilisation de l'aide opératoire

FP : Fluidité de la procédure

QPF : Qualité du Produit Fini

ST : Score Total

NG : Niveau Global

PE : Point d'Entrée de la Suture

PS : Point de Sortie de la Suture

I. INTRODUCTION

I.A. Evolution en éducation chirurgicale : pourquoi la simulation ?

I.A.1. Evolution historique en éducation chirurgicale

Depuis le début du 20^{ème} siècle, la formation chirurgicale se déroule selon un modèle Halstedien.(1) Ce modèle décrit la formation chirurgicale comme un apprentissage se déroulant au lit du patient et au bloc opératoire. L'apprentissage pratique se fait alors au bloc opératoire d'abord par l'observation puis la pratique supervisée et répétée. C'est ce que les anglo-saxons appellent le « learning by seeing ». L'apprentissage théorique se base sur des connaissances scientifiques solides. Ce modèle est marqué par l'évolution des responsabilités données à l'apprenant avec une progression au fur et à mesure de la formation et nécessite donc un temps extensif passé au bloc opératoire et au lit de malade. Ce modèle est aussi marqué par un fort compagnonnage entre apprenant et son ou ses mentors.

Depuis le début du 21^{ème} siècle, ce modèle pédagogique est sujet à des changements du fait de l'évolution du monde hospitalier. En effet, le besoin de traçabilité accrue et les difficultés organisationnelles hospitalières se traduisent par une augmentation du travail administratif des internes. Ceci entraîne une réduction du temps dédié à la pratique clinique comparé à leurs prédécesseurs mais aussi une réduction du temps alloué à la pratique chirurgicale au bloc opératoire.(2) De plus l'application des textes législatifs européens encadrent de plus en plus les horaires travail des internes rend le modèle Halstedien plus difficilement applicable.(3) De plus, l'extension des pathologies prises en charge chirurgicalement, le développement et le renouvellement rapide des technologies chirurgicales entraînent une modification importante des procédures chirurgicales qui privilégient de plus en plus la chirurgie mini-invasive et endovasculaire.(4) Ceci nécessite une formation pratique des apprenant-chirurgiens plus variée et dans un temps plus court que par le passé. L'ensemble de ces modifications du temps de formation pratique des internes a été exacerbée lors de la crise COVID.(5)

I.A.2. Considérations éthiques en éducation chirurgicale

Sur le plan éthique, l'opinion publique et la réflexion déontologique ont subi un profond changement avec une obligation de plus de transparence dans la prise en charge médico-chirurgicale et de plus de sécurité dans la prise en charge des patients. Ces obligations remettent en cause le fondement du modèle pédagogique Halstedien. Il n'est plus acceptable de fonder la formation chirurgicale uniquement sur un apprentissage au bloc opératoire avec la réalisation de gestes de bases pour la première fois au bloc opératoire. C'est le « never on the first time on the patient ».

Il est intéressant d'évaluer les pratiques d'apprentissage utilisées dans d'autres disciplines à haute responsabilité, par exemple pour les pilotes d'avion. Dans ce domaine la simulation d'abord utilisée uniquement comme outil de formation, a pris une nouvelle dimension et est utilisée également comme outil d'évaluation des pratiques, permettant de garantir dans la durée la qualité des pilotes dans les procédures de routine comme dans les situations rares.(6) Dans le domaine de la santé humaine, l'utilisation de la simulation dans la formation chirurgicale apparaît comme une solution réaliste, permise par les avancées technologiques récentes.(7) Le large essor des applications de la simulation dans d'autres domaines ont engendré une modification de pensée dans la communauté chirurgicale avec un appel au développement et à l'utilisation plus systématique de la simulation pour l'apprentissage et l'évaluation des étudiants.(8)

Du fait de ces changements, la formation chirurgicale ne s'appuie plus uniquement sur un modèle d'apprentissage traditionnel, mais évolue vers un modèle basé sur l'acquisition de compétences techniques (gestes techniques pratiqués au service ou au bloc opératoire) et non-techniques (notion théorique et clinique avec apprentissage au contact du patient).(9) Les applications de la simulation permettent la pratique de compétences techniques fondamentales, et, quand elles sont associées à des évaluations régulières et appropriées, l'évaluation et la validation de compétences techniques.(10) Il est donc nécessaire d'attribuer des « permis de faire » aux apprenants pour chacune des tâches opératoires qu'ils devront pratiquer.

I.B. Simulation en chirurgie vasculaire ouverte

I.B.1. **Simulateurs en chirurgie vasculaire ouverte**

Devant l'essor de la simulation dans la formation chirurgicale, il existe une multitude de simulateurs présentés dans la littérature. La diversité des outils développés pour la simulation chirurgicale est expliquée par les contraintes de budget des institutions et par l'objectif final d'utilisation de ces simulateurs.

La majorité des simulateurs utilisés en chirurgie vasculaire sont des simulateurs de basse fidélité permettant la pratique de compétences techniques de base comme la réalisation d'une anastomose vasculaire. Ces simulateurs sont constitués d'un support permettant le maintien d'un substitut vasculaire qui est incisé afin de pouvoir réaliser une anastomose latéro-terminale ou termino-terminale. L'avantage de ces dispositifs est leur coût bas permettant un accès facile à la majorité des programmes de chirurgie vasculaire. On dispose dans la littérature de nombreuses données supportant la translation au bloc opératoire des compétences acquises le biais de la simulation basse-fidélité.(11)

Sidhu et coll. ont mis en évidence l'intérêt de modèle de simulateur de haute-fidélité pour le transfert des compétences au bloc opératoire par l'amélioration des scores des participants ayant pratiqué sur des simulateurs de haute-fidélité comparé à des simulateurs de basse-fidélité.(12) Il existe peu d'études sur ce sujet en chirurgie vasculaire ouverte et l'acquisition de compétences non techniques dans ce domaine nécessite d'être étudiée plus en détail.

L'habillage externe de ces simulateurs peut être plus évolué avec l'utilisation de mannequin pour recréer la position et les repères anatomiques de la région concernée. Ces dispositifs peuvent aussi être connecté à un système de pompe permettant de transformer le substitut vasculaire d'un matériel inerte à un conduit pulsatile pour simuler les conditions opératoires au plus proche possible.(13) Cependant, les limites de ces simulateurs de plus haute réalité restent importantes. L'utilisation répétée de ces simulateurs ne permet pas l'évolution du niveau de difficulté auquel est confronté l'étudiant même si le réalisme est amélioré. Le réalisme artificiel consistant à mettre en place des organes synthétiques colorés, présenté comme attractif par les fabricants, ne constitue pas en soit un bénéfice impactant la pratique du geste chirurgical. Pour des besoins de fabrication, ces simulateurs ne reconstituent pas fidèlement l'espace chirurgical

disponible lors d'une opération d'un patient, mais le présente le plus souvent bien plus important que dans la réalité. De plus, les simulateurs actuellement disponibles ne permettent pas la variabilité de l'espace de travail et donc d'exposer l'apprenant à des niveaux de difficulté différent selon les morphologies différentes entre les patients.

I.B.2. Programmes de simulation en chirurgie vasculaire ouverte

Le contenu des programmes de simulation chirurgicale ouverte nécessite également une revue attentive. Ces programmes s'organisent généralement autour de 2 grands axes : les techniques fondamentales de chirurgie vasculaire (compétences techniques de base, compétences de procédures simples) et les abords chirurgicaux.

Pour l'apprentissage des compétences techniques fondamentales, l'organisation et la standardisation des méthodes d'éducation au sein des programmes de simulation est primordiale pour l'obtention de résultats dans l'acquisition des compétences techniques par les étudiants.(14) La supervision des séances d'entraînement par un encadrant qualifié ainsi que le recours à des débriefings réguliers montrent un effet important sur la qualité des scores obtenu par les étudiants à l'issue d'une séance de formation.(15) L'accès à des matériels éducatifs pertinents participe aussi à l'efficacité d'un programme de simulation. Malas et coll. ont rapporté une amélioration des performances des étudiants quand du matériel de formation vidéo est mis à leur disposition. (16)

Même si le niveau de réalisme du simulateur a un impact sur la formation des étudiants, le potentiel éducatif de la simulation est aussi impacté par le réalisme de la mise en situation de l'étudiant. Pratiquer une anastomose sur un banc de suture, assis à une table n'est pas une représentation réaliste de la situation dans laquelle la compétence travaillée va être utilisée. La mise en situation de l'étudiant avec un environnement au plus proche du bloc opératoire présente aussi un intérêt pour l'acquisition des compétences techniques nécessaires à la pratique chirurgicale.(17) Un autre facteur influençant l'efficacité d'un programme de simulation est la possibilité pour l'étudiant de pratiquer la compétence technique concernée de manière indépendante, comme mis en évidence par Price et coll. dans leur étude où les scores finaux des étudiants du groupe avec pratique indépendante étaient significativement plus élevés par rapport au groupe contrôle.(18) Il a aussi été montré que la courbe d'apprentissage peut être améliorée par l'utilisation des simulateurs de chirurgie ouverte avec un effet plus important sur les plus

novices et concentré majoritairement durant les premiers mois d'entraînement à l'aide du simulateur.(19) Cette accélération de la courbe d'apprentissage est retrouvée dans la majorité des études de simulation en chirurgie vasculaire ouverte quelles que soient les modalités de simulation utilisées.

Pour la formation et la pratique au voies d'abord vasculaire, la dissection sur cadavre reste la modalité permettant un haut niveau de réalisme avec une translation des compétences pratiquées au bloc opératoire sur des procédures simples mise en évidence dans la littérature.(20, 21) Devant l'intérêt de la pratique sur cadavre et sur un modèle pulsatile pour l'amélioration du réalisme de la simulation, un modèle de cadavre frais perfusé a été développé par Garrett et coll.(22) Initialement utilisé pour la réalisation de procédures endovasculaires, l'utilisation de ce modèle a été étendu aux procédures de chirurgies ouvertes.(23)

La simulation en chirurgie vasculaire ouverte est donc avant tout multimodale et ne peut être réduite à l'utilisation d'un modèle unique de simulateur. L'élaboration d'un programme de formation par simulation en chirurgie vasculaire ouverte doit donc tenir compte de cette dimension multimodale pour obtenir les meilleurs résultats possibles.

I.B.3. Evaluations des simulations en chirurgicale ouverte

La pierre angulaire d'un modèle pédagogique basé sur l'acquisition de compétence par l'utilisation de la simulation est l'évaluation du participant. L'évaluation d'un exercice de simulation est une évaluation ponctuelle de la capacité de l'étudiant. Il faut donc prendre en compte l'étude du transfert des compétences au bloc opératoire ainsi que la période de rétention des compétences acquises.

Pour une progression optimale de l'étudiant, le recours à l'évaluation doit être fréquent et faire suite à la pratique des gestes évalués de manière supervisée, avec réalisation d'un debriefing à l'issue d'une évaluation.(24, 25)

Le principal outil utilisé pour l'évaluation des étudiants sont les check-lists détaillées remplies par les chirurgiens seniors lors de la réalisation de l'exercice par l'étudiant. Ce modèle se base sur le concept des check-lists dénommées Objective Structured Assessment of Technical Skill (OSATS), qui sont ensuite modifiées pour s'adapter aux particularités de l'exercice.

Ces checklists ont été décrites par Martin et coll. en 1997 pour apporter une solution d'évaluation objective et structurée des compétences techniques. La checklist originale est composée de 7 items : Respect du Tissu, Etapes temporelles et Mouvement, Gestion des Instruments, Connaissance des instruments, Utilisation de l'aide opératoire, Fluidité de la procédure et Anticipation des Etapes chirurgicales, Connaissances de la procédure. Chacun des items est noté sur une échelle de 1 à 5 permettant l'obtention d'un score global noté sur 35 points.(26)

Ces checklists ont démontré leur intérêt dans l'évaluation des étudiants ainsi que la validité du concept externe et interne.(26, 27)

Les limites de cette méthode d'évaluation sont multiples. Premièrement, la réalisation d'une évaluation par le biais de check-list nécessite une disponibilité de l'encadrant qui doit être un chirurgien senior. La disponibilité du personnel dans la situation hospitalière actuelle est précaire, et limite donc la possibilité de réaliser des évaluations régulières. Ensuite, l'utilisation d'une checklist même conçue pour favoriser l'objectivité de l'évaluateur, par l'utilisation de 2 évaluateurs simultanément, reste une source de variabilité dans l'évaluation de l'étudiant.(13)

Lors de l'évaluation par checklist, la qualité du mouvement n'est pas analysée précisément. De même, l'utilisation de substituts vasculaires de bas réalisme sans mesure objective des forces appliquées sur les tissus ne représente pas la capacité de l'étudiant à manipuler de manière atraumatique des tissus vasculaires.

Enfin, la présence de l'évaluateur influence l'apprenant qui est tenté de rechercher l'approbation de son évaluateur.

Ainsi, l'intérêt de l'utilisation des simulateurs actuels pour la pratique et la certification de compétences techniques essentielles reste limité par le mode d'évaluation utilisé sur ces modèles.

I.C. Simulation en chirurgie endovasculaire

I.C.1. **Simulateurs en chirurgie endovasculaire**

Plusieurs simulateurs en chirurgie endovasculaire sont disponibles sur le marché pour les centres de formation dont 2 principaux : ANGIO Mentor (Symbionix, Cleveland, OH, USA), Vascular Intervention System Trainer (VIST) simulator (Mentice AB, Gothenburg, Sweden). Ces simulateurs se basent sur le même principe de simulation par modélisation informatique, avec un module comprenant un capteur mécanique haptique permettant d'enregistrer les mouvements des instruments de chirurgie endovasculaire, puis de les numériser et de les afficher sur un écran, comme si l'utilisateur naviguait réellement en intra-artériel sous scopie.

Les simulateurs commercialisés, bien que gardant le même fonctionnement de base, se distinguent par leur système informatique de fonctionnement et les habillages disponibles pour chacun d'entre eux. Le système ANGIO Mentor est intégré dans un mannequin qui est placé sur une table simulant une table d'intervention de salle hybride avec un système d'écran de télévision placé devant la table chirurgicale pour simuler les écrans d'un arceau de scopie. La particularité de ce système tient aussi à la possibilité de créer des exercices de simulation se basant sur les examens préopératoires, ce qui permet de créer un entraînement spécifique au patient en pré-opératoire (mode REHERSAL). L'utilisation de ce système permet la réduction du temps de procédure, la réduction du temps de scopie lors des procédures, ainsi qu'une diminution du volume de produit de contraste injecté, particulièrement dans son mode d'utilisation REHERSAL.(28,29)

Le système VIST simulator se présente sous forme de boîtes oblongues se connectant à un ordinateur avec un ou plusieurs écrans pour permettre plus de portabilité. Ce dernier permet aussi la réduction du temps de procédure, du temps de scopie et du volume de produit de contraste utilisé sur les procédures simulées.(30)

Contrairement aux simulateurs de chirurgie vasculaire ouverte, il n'existe pas d'étude comparant l'influence de l'habillage des simulateurs endovasculaire sur les performances de l'utilisateur, car peu d'études ont exploité plusieurs systèmes en même temps, à l'exception de l'étude de Fargen et coll. Cette étude s'intéresse à l'impact de la simulation endovasculaire d'artériographie cérébrale sur la performance des neuroradiologues interventionnels et leurs

connaissances théoriques. Cette étude utilisait plusieurs simulateurs de marques différentes, mais ne comparait pas les performance entre les groupes ayant utilisé des simulateurs différents.(31)

I.C.2. Programmes de simulation en chirurgie endovasculaire

Les programmes de simulation en chirurgie endovasculaire sont retrouvés dans la littérature pour des spécialités plus diverses que les programmes de simulation de chirurgie ouverte vasculaire. En effet, on retrouve de nombreux programme d'entraînement destinés aux cardiologues, neuro-radiologues ou radiologues interventionnels.(31, 32, 33)

Les programmes de simulation en chirurgie endovasculaire sont organisés sous forme d'entraînement intensif sur plusieurs jours en sessions distinctes pour les différents exercices proposés.(34) La simulation endovasculaire pour les chirurgiens vasculaires est désormais incluse dans l'accréditation des chirurgiens vasculaires américains, avec la création et validation d'un programme de formation et d'évaluation des gestes techniques de base en chirurgie endovasculaire (Fundamentals for EndoVascular Surgery ou FEVS). Ce modèle de formation peut être réalisé avec un simulateur de chirurgie endovasculaire sur lequel sur le programme informatique créé spécifiquement pour ces exercices est installé. Le concept de ce programme de formation est la pratique de gestes techniques de base en endovasculaire, tels que définis par l'Association des Enseignants en Chirurgie Vasculaire Américains (Association of Program Directors in Vascular Surgery). Ce programme est divisé en 4 sessions distinctes sur un modèle non anatomique conçu spécialement pour la pratique et l'évaluation des gestes techniques cibles.(35)

En France, le GEPROMED propose, lors du congrès annuel European Symposium on Vascular Biomaterials (ESVB), et plusieurs fois par an, au sein de sa structure de simulation, une formation similaire nommée Bootcamp qui inclut maintenant des stations d'évaluation de gestes techniques de chirurgie vasculaire ouverte.

I.C.3. Evaluation des simulations en chirurgie endovasculaire

Comme décrit précédemment, l'intérêt de l'utilisation de la simulation en formation chirurgicale augmente lorsqu'elle est couplée à une évaluation des performances des participants. L'évaluation des performances en simulation endovasculaire peut être réalisée par l'utilisation de checklists structurées permettant le calcul d'un score, comme en chirurgie vasculaire ouverte, cependant la mesure objective des performances connaît un large essor en simulation endovasculaire.(36)

En effet, la majorité des simulateurs endovasculaire disponibles actuellement utilisent la réalité virtuelle pour simuler les différentes situations et procédures auxquelles l'étudiant peut être confronté.(37) Ceci permet l'acquisition et l'analyse de métriques objectifs pour évaluer les étudiants de manière beaucoup plus aisée que ce qui existe pour la chirurgie vasculaire ouverte. La littérature met en évidence la différence dans le type de données collectées pendant l'évaluation des étudiants : les métriques tels que le temps de scopie, le temps de réalisation de la procédure, le volume de produit de contraste utilisé pour la simulation en chirurgie endovasculaire, versus les données issues des checklists OSATS modifiées dans le cas de la simulation en chirurgie vasculaire ouverte.(32,38)

De nombreuses pistes existent pour continuer à améliorer les évaluations des simulations en chirurgie endovasculaires, telles que l'acquisition de métriques objectifs complexes par le biais des simulateurs. Par exemple, des métriques de type vitesse moyenne de la pointe de l'instrument utilisé, ou distance parcouru par la pointe du cathéter lors d'une procédure, ont été rapportées par Rolls et coll., montrant une différence significative de ces métriques en fonction de l'expérience des participants.(39) La formation FEVS a permis de valider de nouveaux métriques permettant de qualifier la fluidité du mouvement, basées sur les mouvements de la pointe du guide ou du cathéter, comme le nombre de sous-mouvements par exercice, la durée moyenne des sous-mouvements par exercice, et la vitesse des sous-mouvements. Dans cette étude, les métriques rapportés permettaient de différencier de manière significative entre novice et expert.(35)

I.D. Objectifs

I.D.1. Les métriques en chirurgie vasculaire ouverte

En simulation endovasculaire, l'analyse des mouvements de l'étudiant passe par l'analyse des mouvements des instruments, enregistrés par le biais de vidéos ou de capteurs électromagnétiques.(39,40) Ces métriques sont prometteurs et permettent d'apporter des informations plus détaillées sur les performances de l'étudiant qu'une évaluation par la checklist OSATS modifiée. En effet, l'étude de la vitesse des instruments, des forces appliquées sur ceux-ci tout au long d'un exercice permet de focaliser sur les points difficiles de la réalisation d'une procédure.

En chirurgie ouverte, l'analyse des mouvements du chirurgien ainsi que des forces appliquées sur les tissus manipulés sont des concepts plus complexes à objectiver. Lors de l'utilisation d'un simulateur de réalité virtuelle en neurochirurgie par exemple, un algorithme peut être utilisé pour différencier entre novice et expert, en se basant sur des métriques de performances pour la résection de tumeur intracrânienne collectées par un capteur de mouvement électro-magnétique à usage unique.(41)

En simulation chirurgicale vasculaire ouverte, la métrique la plus souvent collectée est issue de test de perfusion du produit fini. Jensen et coll. ont décrit l'évaluation de la perméabilité des anastomoses réalisées, par l'utilisation d'un système de perfusion de sérum physiologique et la mesure du volume de fuite par les anastomoses. Dans cette étude, les auteurs ont mis en évidence une diminution de la fuite après entraînement des participants.(42)

On retrouve aussi des algorithmes développés pour permettre la classification des performances de l'étudiant en fonction des métriques collectées lors de l'exercice. Watson et coll ont rapporté l'utilisation d'un algorithme basé sur l'enregistrement des mouvements des mains des participants pendant la réalisation d'anastomose, grâce à un capteur mesurant l'inertie placé sur leur main durant un workshop de chirurgie vasculaire, algorithme permettant la classification satisfaisante du participant entre le groupe novice et expert.(43)

Ces exemples soutiennent la démarche d'identification et de développement de métriques pour l'analyse du mouvement chirurgical.

I.D.2. Objectifs de l'étude

Dans cette étude, nous avons recueilli et étudié des métriques d'évaluation de la performance chirurgicale et nous les avons comparés au Gold-Standard de l'évaluation en simulation chirurgicale : la checklist OSATS.

Notre objectif principal était d'identifier les métriques représentatives de la qualité de la performance parmi toutes les métriques que nous avons recueillies.

Les objectifs secondaires de notre étude sont :

- Identifier les métriques représentatives de la qualité du produit fini parmi les métriques recueillies,
- Étudier la différence entre les métriques représentatives de la qualité de la performance et celle représentatives de la qualité du produit fini,
- Mettre en évidence la variabilité de la checklist OSATS dans un contexte d'évaluateurs multiples.

II. MATERIEL ET METHODES

II.A. Population

Les participants inclus dans cette étude étaient des chirurgiens et internes en chirurgie travaillant aux Hôpitaux Universitaire de Strasbourg entre mai et juillet 2023.

Les critères d'inclusion pour cette étude étaient la capacité à consentir à l'étude et à l'utilisation d'enregistrements vidéo anonymisés et non anonymisés ainsi que la possibilité de réaliser les 5 épreuves de suture en une seule session ininterrompue.

Les critères d'exclusion étaient les médecins ou internes sans formation chirurgicale minimale même si cette dernière n'était pas en chirurgie vasculaire.

Nous avons inclus 20 participants que nous avons catégorisé en trois groupes de niveau : expert (GE), intermédiaire (GI) et débutant (GD).

II.B. Déroulement de l'étude

Après avoir reçu les explications sur le déroulement de l'étude et un court tutoriel sur la réalisation d'une anastomose termino-terminale, le participant signait le consentement éclairé pour sa participation et l'autorisation de droit à l'image.

Le participant remplissait ensuite un questionnaire d'information recueillant les métriques suivantes :

- Age
- Taille (en cm)
- Main dominante
- Nombre d'années de pratique chirurgicale
- Spécialité chirurgicale
- Expérience précédente de réalisation d'une anastomose termino-terminale
- Score de Stress déclaré au début de l'épreuve (noté de 1 à 10)

- Score de Fatigue déclaré au début de l'épreuve (noté de 1 à 10)

Chaque participant réalise ensuite cinq anastomoses termino-terminales entre deux prothèses de polytetrafluoroéthylène expansé (ePTFE) paroi mince de diamètre 20mm et de 3cm de long qui étaient fournies par le GEPRAMED.

La partie proximale de l'anastomose était fixée par un clamp à 10 cm de profondeur dans un simulateur de chirurgie aortique ouverte mis au point par le laboratoire GEPRAMED. Chacune des anastomoses était réalisée au Prolene 4.0 en utilisant la technique du parachute, le participant était placé à droite du patient et l'investigateur en face jouant le rôle de l'assistant. (Figure 1)

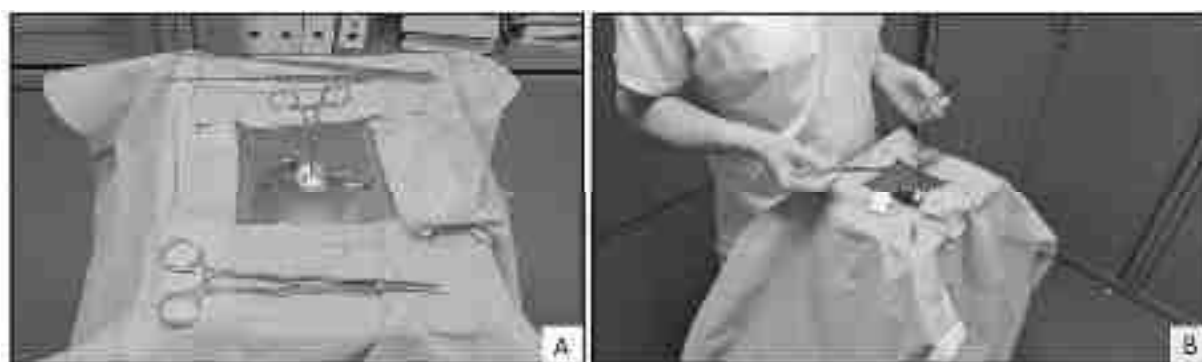


Figure 1 : A. Simulateur de suture aortique et installation pour la réalisation de l'anastomose ; B. Positionnement du participant par rapport au simulateur au début de chaque anastomose.

Une caméra vidéo était placée sur un trépied à gauche de l'investigateur centré sur la boîte du simulateur.

Au début de la suture, l'enregistrement vidéo était initié par l'investigateur. Les instruments à disposition du participant étaient :

- Un porte-aiguille et une pince DeBakey de 20 cm de longueur, adaptés à la profondeur de l'anastomose
- Un clamp bulldog permettant de faire contre-poids sur la suture.

A la fin de l'anastomose, l'enregistrement vidéo était interrompu par l'investigateur et la vidéo était anonymisée. Le segment de ePTFE anastomosé était recueilli pour la suite de l'étude.

Le simulateur était réinstallé pour permettre au participant de réaliser 5 anastomoses termino-terminales consécutives sans interruption extérieure.

II.C. Evaluation OSATS

Les enregistrements de chacune des anastomoses étaient classés de manière aléatoire puis envoyés à trois chirurgiens experts pour évaluation selon une checklist OSATS (Figure 2).

Global Rating Scale					
	1	2	3	4	5
Respect for Tissue	Requires unnecessary tissue force or damage to vessels		Control tissue handling, minimizes inadvertent damage		Completely handled tissue carefully (dependent on), minimal tissue damage
Time and Motion	Many unnecessary motions		Efficient time and motion, some unnecessary motions		Good economy of motion, good technique efficiency
Instrument Handling	Repeated trauma or awkward motion, inappropriate use of instruments		Controlled use of instruments, occasionally self-adjusted		Fluid instrument use with appropriate adjustments
Excising and suturing	Defective technique resulting in poor tissue apposition and/or wide scars		Excising and suturing technique reliable but sometimes awkward		Excising technique and sutured appon
Use of Assistant	Consistently places assistant poorly or fails to take them		Appropriate use of assistant		Used assistant to the best advantage (optional)
Procedural flow	Frequently stopped or awkward sequence of steps		Some control after flow is starting, reasonable progression		Efficient, obviously planned course
Quality of final product	Final product well below standard for laparoscopic		Final product has adequate but would probably be done differently		Excellent final product with no flaws and easy to handle well
Total Score: _____					
Global Summary					
Level at which completed elements of the task were performed on this occasion					<input checked="" type="checkbox"/>
Level 0	Insufficient evidence observed to support a summary judgment				<input type="checkbox"/>
Level 1	Unable to perform the procedure, or part attempted, under supervision				<input type="checkbox"/>
Level 2	Able to perform the procedure, or part observed, under supervision				<input type="checkbox"/>
Level 3	Able to perform the procedure with minimum supervision (needed occasional help)				<input type="checkbox"/>
Level 4	Competent to perform the procedure unsupervised (could deal with complications that arise)				<input type="checkbox"/>

Figure 2 : Checklist OSATS utilisée dans cette étude.

La checklist utilisée était composée de 7 items notés de 1 à 5 permettant de calculer un Score Total (Total Score) noté sur 35 points.

Les items composant la notation étaient :

- Respect des Tissus
- Timing et Mouvement
- Gestion des Instruments

- Nœuds et Sutures
- Utilisation de l'aide opératoire
- Fluidité de la procédure
- Qualité du Produit Fini

Au Score Total était ajouté un score général nommé Niveau Global en accord avec les checklists type OSATS validées dans la littérature.(26)

II.D. Test de Perfusion des anastomoses

II.D.1. Description du système de perfusion

Les anastomoses recueillies étaient montées sur une colonne de perfusion comme montré sur la figure 3. La colonne de perfusion est composée de quatre parties : la colonne, le système d'alimentation de la colonne, le système de perfusion des anastomoses et le montage de recueil des fuites anastomotiques.

La colonne utilisée était en PVC d'une hauteur de 120 cm, représentant le test de perméabilité intégrale des normes ISO d'étude des substituts vasculaires, et fixée au mur avec à son extrémité supérieure une cuve de 1000mL de contenance. L'extrémité basse de la colonne comportait une valve qui est connectée au système de perfusion des anastomoses par un tuyau de cuivre angulé à 90°.

Le système d'alimentation de la colonne était composé d'une pompe à galet dont l'entrée était placée dans une cuve de 5L de solution de glycérol et la sortie de la pompe est placée dans la cuve de la colonne pour permettre un remplissage continu de la colonne. Nous avons utilisé une solution de glycérol à 40% de concentration pour s'approcher de la viscosité du sang à température ambiante.(44)

Le système de perfusion des anastomoses était borgne et divisé en 2 parties. La partie proximale du système de perfusion des anastomoses était connectée à la colonne de perfusion par le tuyau de cuivre angulé et son autre extrémité comportait un embout de branchement des prothèses, un tuyau de plastique de diamètre 20mm et de 7,5cm de longueur entre les deux. La partie distale du système de perfusion était composée du même embout de branchement des prothèses

et d'un embout borgne étanche avec interposition d'un tuyau de plastique de 20 mm de diamètre et de 7,5 cm de longueur entre les deux. Les anastomoses étaient placées sur le système de perfusion entre les deux embouts prévus à cet effet et maintenu en place à l'aide de deux liens de serrage de chaque côté.

Le montage de recueil des fuites anastomotiques comprenait un contenant rectangulaire de plastique rigide d'une contenance de 1L percé au niveau des deux petits côtés d'une ouverture pour permettre de fixer le système de perfusion des anastomoses. Ce contenant était placé sur une balance tarée qui est elle-même placée sur une surface plane.

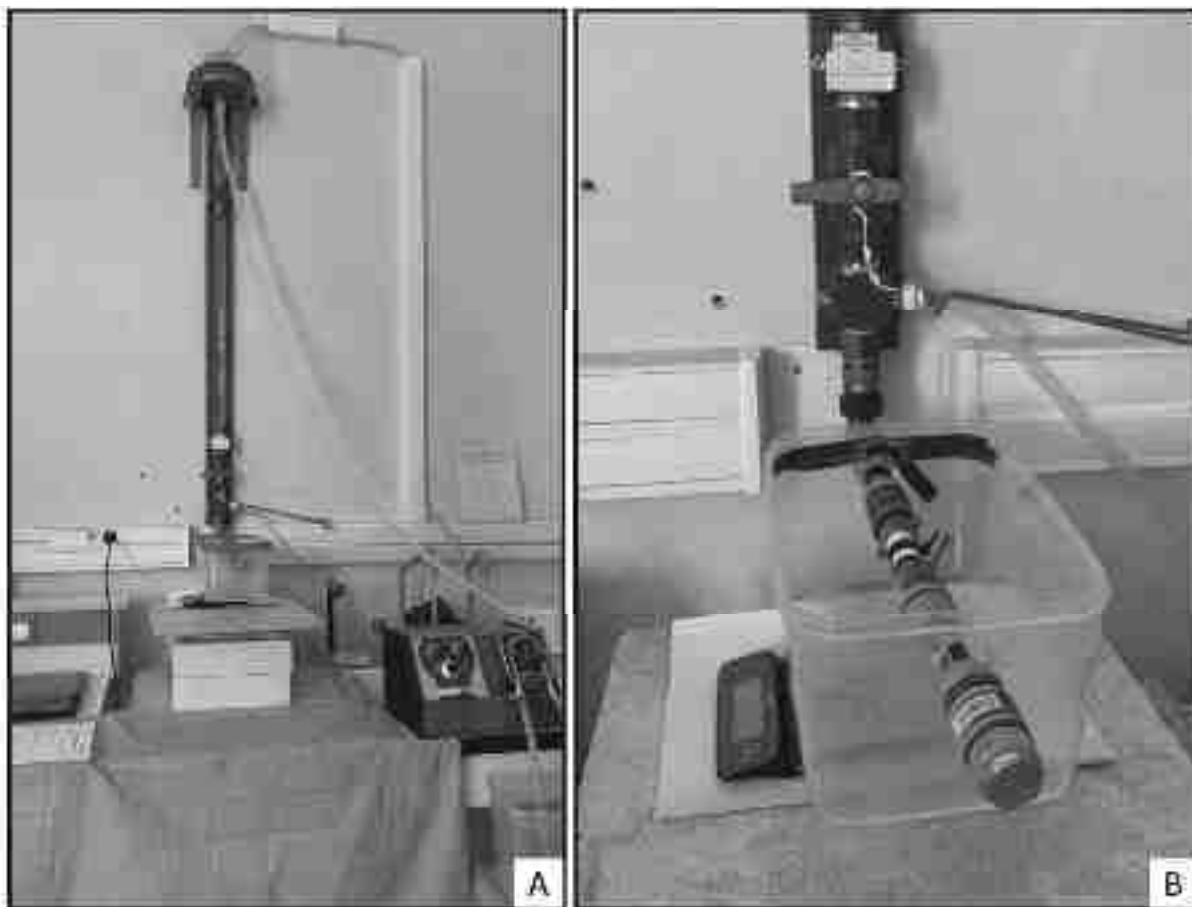


Figure 3 : A. Colonne de perfusion permettant une perfusion continue à 120mmHg
B. Montage pour la perfusion des anastomoses permettant le calcul de VFA.

VFA : Volume de Fuite Anastomotique

II.D.2. Test de perfusion

Les anastomoses étaient perfusées pour une durée de 1 minute et 15 secondes par la solution de glycérol.

Le volume de fuite était calculé à partir de la courbe de poids en fonction du temps corrigée qui était recueilli lors de l'épreuve de perfusion. Nous avons pu calculer le volume de fuite anastomotique (VFA) en utilisant la masse volumique de notre solution de glycérol estimé à 605.06kg/m^{-3} soit 0.605g/mL .

Le poids de liquide fuitant par l'anastomose était noté après une durée fixe de purge du montage de 15 secondes puis après 30 secondes et 1 minute de perfusion. Le test était répété trois fois pour chaque anastomose pour éliminer une erreur de perfusion par une purge incomplète du système sur un test.

Le VFA correspondait à la moyenne des fuites mesurées pendant une minute de perfusion sur le système décrit ci-avant après 15 secondes de purge du circuit lors des trois tests réalisés par anastomose.

II.E. Recueil des métriques de mouvement

Avant le début de l'étude, une équipe de chirurgien vasculaire a été réunie pour visionner des vidéos de participant de différent niveau réalisant des exercices de simulation de chirurgie vasculaire enregistrées lors d'une précédente formation. Cette réunion a permis de comparer les attitudes des chirurgiens afin d'identifier les mouvements intéressants pour distinguer la qualité de la performance des participants. Les pistes d'intérêt retenues dans cette étude étaient les mouvements de la main du porte-aiguille, l'utilisation des mains sans les instruments et les paramètres de la suture comme la régularité des points, la distance à la berge des points et leur écartement.

Pour le recueil des métriques de mouvement, les données vidéos étaient annotées pour les mouvements du porte-aiguille et l'utilisation des mains sans les instruments chirurgicaux.

L'annotation des vidéos pour les mouvements du porte-aiguille et l'utilisation des mains sans instruments a permis de mesurer les métriques suivantes :

- La durée totale de l'exercice,
- Le nombre d'utilisation de la main sans instruments par exercice,
- Le nombre d'entrées du porte-aiguille dans le champ opératoire (IN) par exercice,
- La durée totale de IN porte-aiguille par exercice,
- Le nombre de sortie du porte-aiguille du champ opératoire (OUT) par exercice,
- La durée totale de OUT du porte-aiguille par exercice,
- La durée moyenne de IN du porte-aiguille par exercice,
- La variance de la durée moyenne de IN du porte-aiguille par exercice,
- La durée moyenne de OUT du porte-aiguille par exercice,
- La variance de la durée moyenne de OUT du porte-aiguille par exercice.

II.F. Recueil des métriques de suture

Après le test de perfusion, les anastomoses étaient rincées et séchées. Chacune des sutures était fixée à l'aide de colle universelle transparente et les anastomoses étaient ouvertes à l'aide d'un scalpel pour être photographiées.

Les anastomoses étaient photographiées à plat à l'aide d'une caméra fixée sur un trépied. La première photo était réalisée avec la suture en place et en tension. La seconde photo était réalisée après le retrait de la suture pour visualiser les trous d'aiguille sans la tension de la suture. Les photos avec et sans suture d'une des anastomoses de l'étude sont présentées dans la Figure 4.A.

Les photos calibrées des anastomoses étaient utilisées pour extraire les paramètres de la suture. Les points d'entrée et de sortie de la suture étaient repérés manuellement sur les photos. La tranche de section était ensuite annotée comme présenté dans la figure 4.B.

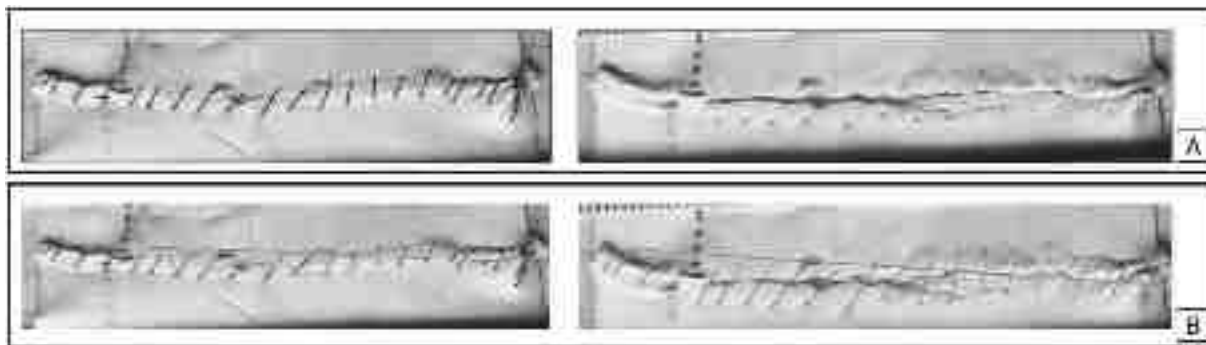


Figure 4 : A. Photos prises des anastomoses avec (gauche) et sans (droite) suture en tension ; B. Photos des anastomoses avec (gauche) et sans (droite) suture en tension après analyse pour le recueil des métriques de suture.

Ceci permettrait le traitement des données et le calcul des métriques suivantes pour chacune des anastomoses :

- Le nombre de points par anastomose,
- La longueur moyenne du point par anastomose avec fil en tension et sa variance,
- La longueur moyenne du point par anastomose sans fil en tension et sa variance,
- La distance moyenne entre les points d'entrée de chaque point avec suture en tension et sa variance,
- La distance moyenne entre les points d'entrée de chaque point sans suture en tension et sa variance,
- La distance moyenne entre les points de sortie de chaque point avec suture en tension et sa variance,
- La distance moyenne entre les points de sortie de chaque point sans suture en tension et sa variance,
- La distance moyenne à la berge des points d'entrée avec suture en tension et sa variance,
- La distance moyenne à la berge des points d'entrée sans suture en tension et sa variance,
- La distance moyenne à la berge des points de sortie avec suture en tension et sa variance,
- La distance moyenne à la berge des points de sortie sans suture en tension et sa variance
- Le nombre de points d'entrée multiples par anastomose (nombre de points présentant plus d'un trou d'aiguille).

II.G. Analyse statistique

Après le recueil des trois évaluations OSATS, la moyenne des résultats des 3 évaluateurs est calculée pour chaque item de la checklist, le Score Total et le Niveau Global. Nous avons réalisé par la suite les tests de corrélation à la checklist OSATS en utilisant le score moyen comme défini ci-dessus mais aussi le score individuel assignés par l'évaluateur 1. Ceci a pour but de maîtriser le biais introduit par l'utilisation d'une moyenne inter-évaluateur dans les tests de corrélation. Le choix s'est porté sur l'évaluateur 1 du fait de l'importance de son expérience avec la notation utilisant la checklist OSATS.

Pour le test de perfusion, le VFA a été rapportée comme la moyenne des volumes de fuites notés lors des 3 tests de perfusion réalisés.

Les variables qualitatives ont été décrites ici en donnant les effectifs et fréquences de chaque modalité. Les variables quantitatives sont décrites à l'aide des paramètres de position habituel (moyenne, écart-type, intervalle de confiance à 95%).

Pour les tests de différence de groupe des métriques, les tests d'ANOVA ont été réalisés. Les résultats ont été présentés sous forme de moyennes, écart-type, intervalles de confiance à 95% associé à la valeur du Test-F (F) et du p obtenu.

Tous les tests de corrélations ont été effectués par régression linéaire de Pearson avec présentation du coefficient de corrélation (r) et du p obtenu. L'intensité des corrélations est définie en appliquant l'échelle suivante :

- $r < 0,1$: pas de corrélation
- $r = [0,1 - 0,3]$: corrélation faible
- $r = [0,3 - 0,5]$: corrélation moyenne
- $r = [0,5 - 0,7]$: corrélation forte
- $r > 0,7$: corrélation très forte.

Le risque alpha retenu pour les tests statistiques dans cette étude était de 5%.

Les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel Minitab® v18.1 (Statistical Software (2010), State College, PA: Minitab, Inc. www.minitab.com). Tous les logiciels utilisés pour l'extraction des données de mouvement et de sutures sont créés pour cette étude par l'équipe investigatrice et codés en python 3.8 sous Spyder©.

III. RESULTATS

III.A. Description de la population

Le groupe expert (GE) était composé de 4 chirurgiens d'un âge moyen de 49 ans avec une durée moyenne de pratique chirurgicale de 25 ans. Tous les participants étaient droitiers et chirurgiens vasculaires et avaient donc l'expérience de réalisation d'une anastomose termino-terminale.

Le groupe intermédiaire (GI) était composé de 4 chirurgiens d'un âge moyen de 35 ans avec une durée moyenne de pratique chirurgicale de 7 ans. Tous les participants étaient droitiers et 3 d'entre eux étaient chirurgiens vasculaires. Tous les participants avaient l'expérience de réalisation d'une anastomose termino-terminale.

Le groupe débutant (GD) était composé de 12 internes d'un âge moyen de 27 ans avec une durée moyenne de pratique chirurgicale de 2,4 ans. Dix participants sur les 12 étaient droitiers et 4 inscrits dans le cursus de formation de chirurgie vasculaire. Les 8 autres participants avaient une expérience de réalisation d'une anastomose termino-terminale.

Les caractéristiques de la population sont résumées dans le Tableau 1.

	Expert (n=4)	Intermédiaire (n=4)	Débutant (n=12)
Age (moy)	49	34	27
Taille en cm (moy)	166,25	176,50	177,33
Droitier (n)	4	4	10
Nb d'années de pratique (moy)	25	7	2,4
Chirurgien Vasculaire (n)	4	3	4
Autre Spécialité chirurgicale (n)	0	1	8
Expérience Anastomose Terminoterminal (n)	4	4	8

Tableau 1 : Description de la population.

III.B. Évaluation du niveau de stress

Dans le GE, les participants déclaraient un score moyen de stress au début de l'épreuve de suture de 4,50/10 et un score moyen de fatigue de 5,75/10.

Dans le GI, les participants déclaraient un score moyen de stress au début de l'épreuve de suture de 1,67/10 et un score moyen de fatigue de 4,00/10.

Dans le GD, les participants déclaraient un score moyen de stress au début de l'épreuve de suture de 3,08/10 et un score moyen de fatigue de 4,50/10. (Tableau 2)

	Expert (n=4)	Intermédiaire (n=4)	Débutant (n=12)
Score de Stress déclaré (<i>moy</i>)	4,50	1,67	3,08
Score de Fatigue déclaré (<i>moy</i>)	5,75	4,00	4,50

Tableau 2 : Score de Stress et Score de Fatigue déclarés par les participants au début de l'épreuve de suture.

III.C. Évaluation OSATS

III.C.1. Résultats des évaluations OSATS

Les enregistrements vidéo anonymisés de chaque anastomose ont été soumis pour évaluation à trois experts indépendants dans un ordre aléatoire. Les résultats de ces évaluations sont présentés par groupe et par évaluateurs ainsi que le score total et le niveau global attribué dans les Tableaux 3, 4 et 5 qui présente les scores moyens de chaque participant par évaluateur pour les différents items de la check-list ainsi que le Score Total et le Niveau Global.

EXPERT	Participant 1			Participant 2			Participant 3			Participant 4		
	Score Eval 1	Score Eval 2	Score Eval 3	Score Eval 1	Score Eval 2	Score Eval 3	Score Eval 1	Score Eval 2	Score Eval 3	Score Eval 1	Score Eval 2	Score Eval 3
Items Check-list												
Respect des Tissus	3,8	3,8	4,6	4,2	4,0	4,4	3,2	3,4	2,8	2,6	3,4	3,2
Timing et Mouvement	4,2	4,0	4,8	4,8	4,8	4,6	3,8	5,0	4,2	3,2	3,4	3,2
Gestion des Instruments	4,4	4,0	5,0	5,0	4,2	4,8	4,0	4,0	4,4	3,0	3,4	3,4
Nœuds et Suture	4,6	4,0	5,0	5,0	4,0	4,8	3,8	4,0	3,8	3,0	3,4	3,8
Utilisation de l'aide opératoire	4,4	3,8	5,0	4,4	3,8	4,4	3,8	4,2	4,4	3,0	2,4	3,8
Fluidité de la procédure	3,8	4,0	5,0	5,0	4,2	4,6	3,6	4,2	4,4	2,4	2,8	3,6
Qualité du Produit Fini	4,4	4,0	5,0	4,6	4,0	4,6	3,4	3,6	3,8	3,4	3,2	3,8
Score Total	29,6	27,6	34,4	33,0	29,0	32,2	25,6	28,4	27,8	20,6	22,0	24,8
Niveau Global	3,8	3,8	4,0	4,0	4,0	3,8	3,6	4,0	3,2	2,6	3,4	2,6

Tableau 3 : Moyenne des scores attribués par chaque évaluateur pour les participants du groupe expert.

INTERMEDIAIRE	Participant 5			Participant 6			Participant 7			Participant 8		
	Score Eval 1	Score Eval 2	Score Eval 3	Score Eval 1	Score Eval 2	Score Eval 3	Score Eval 1	Score Eval 2	Score Eval 3	Score Eval 1	Score Eval 2	Score Eval 3
Items Check-list												
Respect des Tissus	3,6	4,0	4,2	3,6	4,0	4,8	3,0	4,0	3,6	4,0	3,8	4,2
Timing et Mouvement	4,2	5,0	4,4	4,0	5,0	4,8	3,4	5,0	4,6	3,8	4,2	3,8
Gestion des Instruments	4,4	4,2	4,6	4,4	4,0	4,8	3,4	4,0	4,6	4,2	3,8	3,8
Nœuds et Suture	4,4	4,0	4,4	4,0	4,0	4,6	3,6	4,0	4,4	4,4	3,6	3,8
Utilisation de l'aide opératoire	3,8	4,0	4,6	3,8	4,0	4,6	3,6	3,8	4,6	4,0	3,6	4,0
Fluidité de la procédure	3,8	4,6	4,6	4,2	4,4	4,6	3,2	3,8	4,4	4,0	3,4	3,6
Qualité du Produit Fini	3,6	3,2	4,2	3,4	3,4	4,4	3,0	3,8	4,4	4,6	3,8	4,2
Score Total	27,8	29,0	31,0	27,4	28,8	32,6	23,2	28,4	30,6	29,0	26,2	27,4
Niveau Global	3,6	4,0	3,6	3,8	4,0	3,8	2,8	4,0	3,8	4,0	3,6	3,0

Tableau 4 : Moyenne des scores attribués par chaque évaluateur pour les participants du groupe intermédiaire.

DEBUTANT	Participant 9			Participant 10			Participant 11			Participant 12		
	Score Eval 1	Score Eval 2	Score Eval 3	Score Eval 1	Score Eval 2	Score Eval 3	Score Eval 1	Score Eval 2	Score Eval 3	Score Eval 1	Score Eval 2	Score Eval 3
Items Check-list												
Respect des Tissus	4,0	4,0	4,2	2,8	3,2	2,4	2,8	4,0	3,2	2,8	4,0	4,4
Timing et Mouvement	3,6	3,6	3,4	2,0	2,8	2,0	3,0	3,6	3,2	2,6	3,6	3,2
Gestion des Instruments	3,8	3,8	4,0	2,4	3,4	1,6	3,0	3,6	3,4	2,8	4,0	2,8
Nœuds et Suture	4,0	3,8	4,0	2,6	3,0	2,0	3,4	3,8	3,2	3,2	4,0	3,4
Utilisation de l'aide opératoire	3,6	3,4	3,8	2,6	3,0	2,2	3,4	3,2	3,4	3,2	3,8	4,2
Fluidité de la procédure	3,8	4,0	3,4	2,2	3,0	1,4	3,0	3,6	3,0	3,2	3,8	3,4
Qualité du Produit Fini	4,2	4,0	4,0	3,6	3,2	2,6	3,8	3,6	3,4	2,6	3,8	3,8
Score Total	27,0	26,6	26,8	18,2	21,6	14,2	22,4	25,4	22,8	20,4	27,0	25,2
Niveau Global	3,4	3,6	2,6	2,2	3,0	1,0	3,2	3,8	2,8	2,4	4,0	2,6
	Participant 13			Participant 14			Participant 15			Participant 16		
Items Check-list	Score Eval 1	Score Eval 2	Score Eval 3	Score Eval 1	Score Eval 2	Score Eval 3	Score Eval 1	Score Eval 2	Score Eval 3	Score Eval 1	Score Eval 2	Score Eval 3
Respect des Tissus	2,0	3,8	2,6	2,0	3,8	2,4	1,4	3,2	2,2	2,4	3,8	2,6
Timing et Mouvement	1,8	3,2	2,0	2,6	3,6	3,0	1,4	3,0	1,8	1,6	3,2	1,4
Gestion des Instruments	2,2	3,4	1,8	3,2	3,4	3,2	1,6	3,4	2,0	1,8	3,2	1,8
Nœuds et Suture	2,2	3,6	2,6	3,4	3,4	3,0	1,2	1,6	1,6	1,8	2,4	1,6
Utilisation de l'aide opératoire	2,6	3,0	3,0	3,2	2,8	3,2	2,2	2,8	2,6	2,2	3,0	2,2
Fluidité de la procédure	1,8	3,2	1,8	3,0	3,6	3,0	1,8	2,4	1,8	1,8	3,0	1,4
Qualité du Produit Fini	2,8	3,8	3,0	3,6	3,4	3,0	2,2	2,2	1,6	1,6	2,6	1,8
Score Total	15,4	24,0	16,8	21,0	24,0	20,8	11,8	18,6	13,6	13,2	21,2	12,8
Niveau Global	1,8	3,4	1,4	2,8	3,4	2,4	1,4	2,4	1,0	1,4	2,6	1,2
	Participant 17			Participant 18			Participant 19			Participant 20		
Items Check-list	Score Eval 1	Score Eval 2	Score Eval 3	Score Eval 1	Score Eval 2	Score Eval 3	Score Eval 1	Score Eval 2	Score Eval 3	Score Eval 1	Score Eval 2	Score Eval 3
Respect des Tissus	2,8	4,0	3,0	3,6	4,0	4,6	2,6	3,6	3,0	2,6	3,8	3,6
Timing et Mouvement	2,8	3,6	2,2	3,0	4,2	4,0	2,8	3,2	2,2	2,4	2,6	2,8
Gestion des Instruments	2,2	4,0	2,0	3,4	4,0	4,2	2,4	3,8	2,6	2,6	2,8	3,2
Nœuds et Suture	3,0	4,0	2,2	3,2	4,0	3,8	3,0	3,0	2,8	3,0	3,4	3,4
Utilisation de l'aide opératoire	2,8	3,8	2,8	3,6	3,8	4,4	2,8	3,0	2,6	3,2	2,8	3,4
Fluidité de la procédure	2,8	3,8	2,2	3,0	4,0	3,8	2,2	2,2	2,0	2,2	3,0	2,8
Qualité du Produit Fini	3,4	3,4	2,8	4,6	4,0	4,2	2,4	2,8	2,6	3,4	3,4	3,8
Score Total	19,8	26,6	17,2	24,4	28,0	29,0	18,2	21,6	17,8	19,4	21,8	23,0
Niveau Global	2,6	3,8	1,6	3,6	4,0	3,0	2,0	3,0	1,4	2,2	3,0	2,4

Tableau 5 : Moyenne des scores attribués par chaque évaluateur pour les participants du groupe débutant.

III.C.2. Représentativité du Score Total et du Niveau Global sur la performance

Nous avons d'abord étudié la corrélation des items de la check-list avec le Score Total et le Niveau Global attribués par les évaluateurs (Tableau 6).

Items Check-list	Evaluateur 1		Evaluateur 2		Evaluateur 3		Moyenne Evaluateur	
	Score Total 1	Niveau Global 1	Score Total 2	Niveau Global 3	Score Total 1	Niveau Global 3	Score Total Moyen	Niveau Global Moyen
Respect des Tissus	0,858 <i>p</i> < 0,0001	0,724 <i>p</i> < 0,0001	0,545 <i>p</i> < 0,0001	0,512 <i>p</i> < 0,0001	0,820 <i>p</i> < 0,0001	0,741 <i>p</i> < 0,0001	0,832 <i>p</i> < 0,0001	0,757 <i>p</i> < 0,0001
Timing et Mouvement	0,931 <i>p</i> < 0,0001	0,827 <i>p</i> < 0,0001	0,837 <i>p</i> < 0,0001	0,703 <i>p</i> < 0,0001	0,962 <i>p</i> < 0,0001	0,937 <i>p</i> < 0,0001	0,954 <i>p</i> < 0,0001	0,917 <i>p</i> < 0,0001
Gestion des Instruments	0,907 <i>p</i> < 0,0001	0,793 <i>p</i> < 0,0001	0,727 <i>p</i> < 0,0001	0,613 <i>p</i> < 0,0001	0,943 <i>p</i> < 0,0001	0,906 <i>p</i> < 0,0001	0,946 <i>p</i> < 0,0001	0,903 <i>p</i> < 0,0001
Nœuds et Suture	0,935 <i>p</i> < 0,0001	0,807 <i>p</i> < 0,0001	0,862 <i>p</i> < 0,0001	0,868 <i>p</i> < 0,0001	0,952 <i>p</i> < 0,0001	0,889 <i>p</i> < 0,0001	0,954 <i>p</i> < 0,0001	0,912 <i>p</i> < 0,0001
Utilisation de l'aide opératoire	0,905 <i>p</i> < 0,0001	0,830 <i>p</i> < 0,0001	0,804 <i>p</i> < 0,0001	0,670 <i>p</i> < 0,0001	0,921 <i>p</i> < 0,0001	0,867 <i>p</i> < 0,0001	0,931 <i>p</i> < 0,0001	0,892 <i>p</i> < 0,0001
Fluidité de la procédure	0,918 <i>p</i> < 0,0001	0,849 <i>p</i> < 0,0001	0,807 <i>p</i> < 0,0001	0,694 <i>p</i> < 0,0001	0,954 <i>p</i> < 0,0001	0,924 <i>p</i> < 0,0001	0,953 <i>p</i> < 0,0001	0,920 <i>p</i> < 0,0001
Qualité du Produit Fini	0,781 <i>p</i> < 0,0001	0,744 <i>p</i> < 0,0001	0,694 <i>p</i> < 0,0001	0,696 <i>p</i> < 0,0001	0,912 <i>p</i> < 0,0001	0,845 <i>p</i> < 0,0001	0,849 <i>p</i> < 0,0001	0,823 <i>p</i> < 0,0001

Tableau 6 : Test de corrélation pour les items de la Checklist OSATS contre le Score Total et le Niveau Global de chaque évaluateur et les scores moyens.

Nous avons retrouvé une corrélation forte à très forte entre chaque item individuel de la checklist et le Score Total et le Niveau Global pour chaque évaluateur et pour la moyenne des évaluateurs (coefficient de corrélation compris entre 0.545 et 0.962 pour le Score Total et entre 0.512 et 0.937 pour le Niveau Global).

Ces données nous permettent de valider la représentativité du Score Total et du Niveau Global pour la qualité de la performance.

La force des corrélations observées pour le Score Total de chaque évaluateur avec les items individuels de la checklist est expliquée par la relation directe entre le Score Total (somme des sept items de la checklist) et les items de la checklist.

III.C.3. Corrélation inter-évaluateurs

Pour évaluer la fiabilité de la checklist OSATS, nous avons testé la corrélation des scores entre chaque couple d'évaluateur (évaluateurs 1 et 2, évaluateurs 1 et 3, évaluateurs 2 et 3) pour chaque item de la checklist, le Score Total et le Niveau Global (Tableau 7)

Couple de variables		Coefficient de corrélation R	Valeur de p	Couple de variables		Coefficient de corrélation R	Valeur de p
X	Y			X	Y		
RdT 1	RdT 2	0,270	$p = 0,007$	Gdl 1	Gdl2	0,338	$p < 0,0001$
RdT 1	RdT 3	0,473	$p < 0,0001$	Gdl 1	Gdl 3	0,667	$p < 0,0001$
RdT 2	RdT 3	0,363	$p < 0,0001$	Gdl 2	Gdl 3	0,391	$p < 0,0001$
NeS 1	NeS 2	0,533	$p < 0,0001$	FP 1	FP 2	0,459	$p < 0,0001$
NeS 1	NeS 3	0,586	$p < 0,0001$	FP 1	FP 3	0,607	$p < 0,0001$
NeS 2	NeS 3	0,525	$p < 0,0001$	FP 2	FP 3	0,516	$p < 0,0001$
TeM 1	Tem 2	0,530	$p < 0,0001$	ST1	ST2	0,537	$p < 0,0001$
TeM 1	Tem 3	0,649	$p < 0,0001$	ST1	ST3	0,641	$p < 0,0001$
TeM 2	Tem 3	0,625	$p < 0,0001$	ST2	ST3	0,631	$p < 0,0001$
UAO 1	UAO 2	0,409	$p < 0,0001$	NG 1	NG 2	0,458	$p < 0,0001$
UAO 1	UAO 3	0,567	$p < 0,0001$	NG 1	NG 3	0,603	$p < 0,0001$
UAO 2	UAO 3	0,472	$p < 0,0001$	NG 2	NG 3	0,573	$p < 0,0001$

Tableau 7 : Test de corrélation inter-évaluateurs pour chaque item de la checklist OSATS, le Score Total et le Niveau Global.

RdT : Respect des Tissus, *TeM* : Timing et Mouvements, *Gdl* : Gestion des Instruments, *NeS* : Nœud et Suture, *UOA* : Utilisation de l'Aide Opératoire, *FP* : Fluidité de la Procédure, *ST* : Score Total, *NG* ; Niveau Global

Les tests de corrélation pour les items de la check-list sont statistiquement significatifs, cependant les coefficients de corrélation montrent une intensité de corrélation hétérogène pour

un même item selon les évaluateurs. Les coefficients de corrélation inter-évaluateurs les plus élevés et homogènes sont retrouvés pour l'item « Timing et Mouvement » et le Score Total.

On observe que la corrélation inter-évaluateurs pour le Score Total est élevée, avec des coefficients compris entre 0,537 et 0,641 mais reste inférieure aux coefficients de corrélation publiés dans l'article princeps pour la corrélation inter-évaluateur, qui est rapporté entre 0,7 et 0,8. (26)

Pour visualiser la variabilité inter-évaluateurs de manière plus complète, nous avons réalisé un nuage de point en trois dimensions présentant le Score Total de chaque participant déterminé par les trois évaluateurs (Figure 5). Nous avons aussi indiqué par la couleur des points le niveau des participants auquel le point se réfère. Le plan de régression est également indiqué. Ici, le nuage de point suit le plan de régression tracé mais les points restent dispersés.

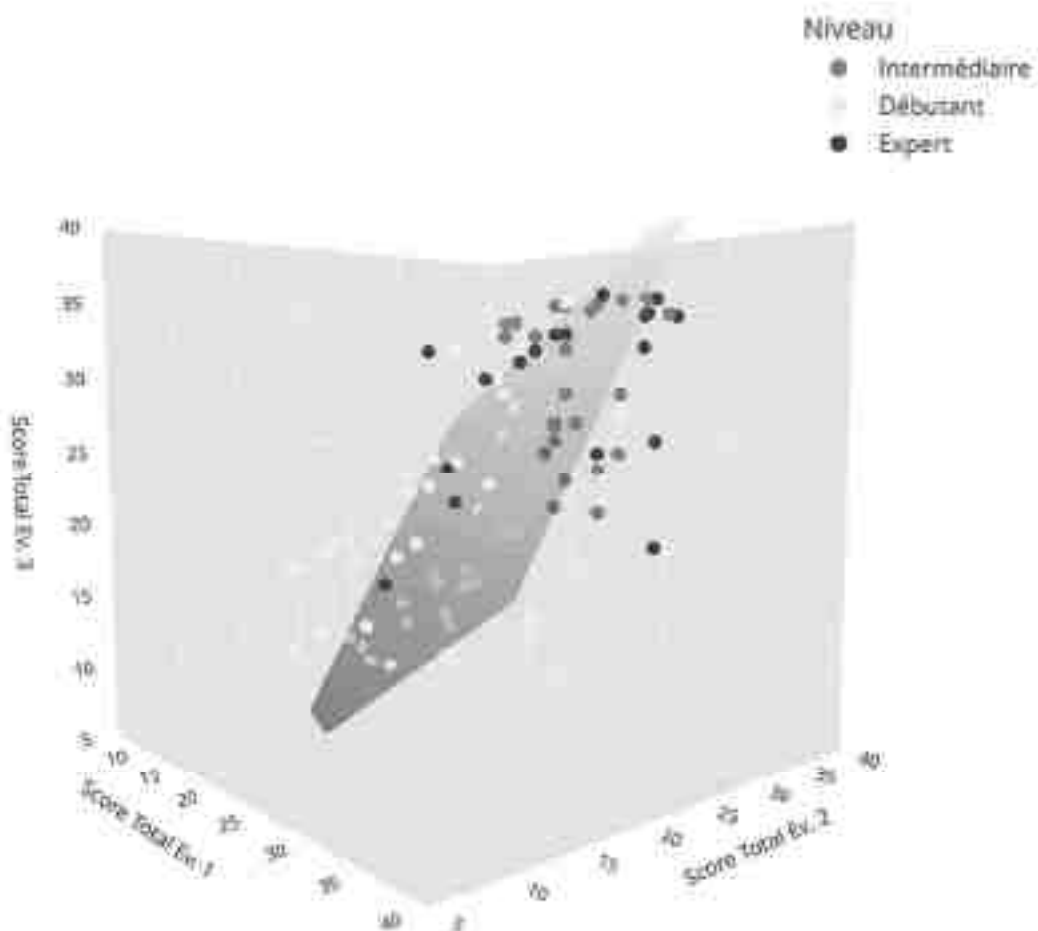


Figure 5 : Nuage de point 3D du Score Total par les trois évaluateurs.

La classification du niveau en étudiant le Score Total est cohérent mais n'est pas parfait comme mis en évidence ici avec des évaluations de participants de niveau expert sur la partie des scores bas du plan de régression.

Pour explorer plus en détails la corrélation des trois évaluateurs selon les groupes de niveau, nous avons représenté la distribution des participants selon l'évaluateur et le groupe de niveau, pour l'item Score Total et Niveau Global (Figure 6).

Pour le Niveau Global, chaque rang de notation est représenté pour les trois évaluateurs avec la proportion de participants de chaque niveau. Pour le Score Total, nous avons divisé la note sur 35 points en 4 rangs de notation ([7-14] , [15-21] , [22-28] et [29-35]) pour représenter pour les trois évaluateurs la proportions de participants de chaque niveau dans les rang de notation.

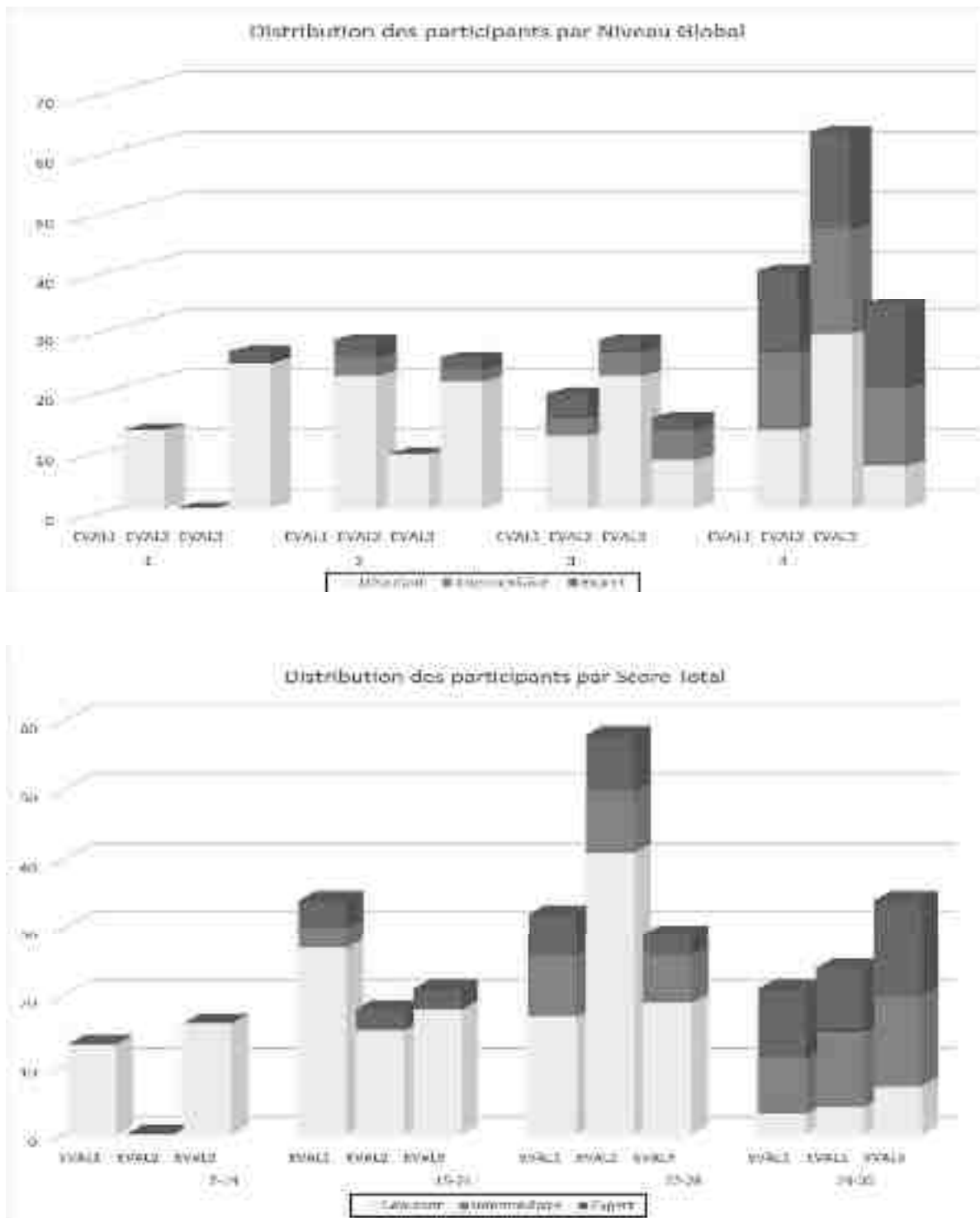
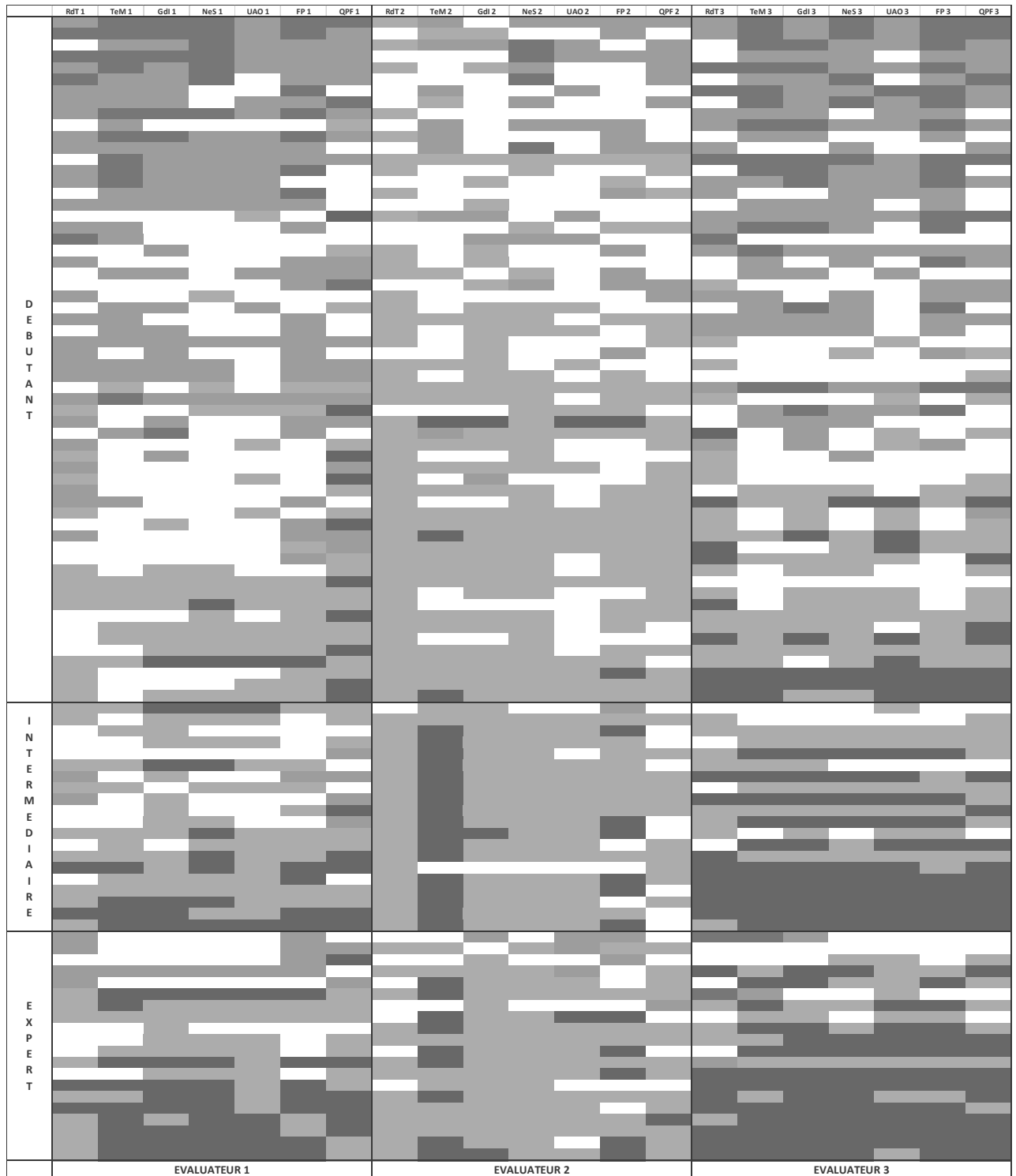


Figure 6 : Histogramme de distribution des participants selon les évaluateurs et les groupes de niveau. A. Niveau Global ; B. Score Total (présentés en quatre rangs de score).

L'observation de ces histogrammes montre que la répartition des participants débutants, intermédiaires et experts est hétérogène pour le Niveau Global et le Score Total. En effet, les effectifs de participants et la proportion de participants de chaque niveau dans les rangs de notation est différente selon les évaluateurs pour le Niveau Global et le Score Total.

Enfin, devant la variabilité retrouvée par les tests de corrélations et par l'analyse des histogrammes de répartition des participants en fonction de leur niveau et de leur rang de notation pour le Niveau Global et le Score Total, nous avons réalisés une carte thermique présentant l'ensemble des scores individuels de chaque participant pour les 7 items de la checklist OSATS (Figure 7).



Score

Figure 7 : Carte thermique présentant le score individuel de chaque participant sur les items de la checklist OSATS, selon l'évaluateur et le groupe de niveau.

L'hétérogénéité de couleur entre les colonnes de chaque évaluateur sur cette carte thermique met en évidence la variabilité de la notation des évaluateurs pour tous les items et dans tous les groupes de niveaux.

Les observations de notre étude mettent en évidence la variabilité inter-évaluateur pour l'ensemble des scores de la check-list OSATS, malgré une anonymisation des données vidéos et l'entraînement des évaluateurs. Pour limiter l'impact de cette variabilité, nous avons systématiquement comparé les métriques mesurées dans la suite de l'étude avec la moyenne des notes des 3 évaluateurs, et également avec les notes de l'évaluateur le plus expérimenté dans l'utilisation de la checklist OSATS (évaluateur 1).

III.D. Test de perfusion

III.D.1. Discrimination du test de perfusion

La moyenne du VFA est respectivement de 263,8mL ($\pm 112,8$ mL), 217,3mL ($\pm 74,8$ mL) et 443,8mL ($\pm 233,3$ mL) pour GE, GI et GD. (Tableau 8).

Groupe	N	Moyenne VFA (mL)	Ecart-Type	IC à 95%	Test -F	Valeur de p
Expert	20	263,8	122,8	(178,3 ; 349,4)	(2, 97) = 13,63	< 0,0001
Intermédiaire	20	217,3	74,8	(131,7 ; 302,8)		
Débutant	60	443,8	233,3	(394,4 ; 493,2)		

Tableau 8 : Volume de Fuite Anastomotique en fonction des groupes de niveau.
VFA : Volume de Fuite Anastomotique

Le test ANOVA met en évidence une différence significative ($F(2,97) = 13,63$, $p < 0,0001$) du VFA entre le GE et GD, le GI et le GD. On ne retrouve pas de différence significative entre le GE et GI (Figure 8).

Ceci démontre l'intérêt du VFA pour l'évaluation objective de la qualité des anastomoses, puisqu'on observe une meilleure étanchéité des anastomoses réalisées par les participants de niveau expert et intermédiaire par rapport aux participants de niveau débutant.

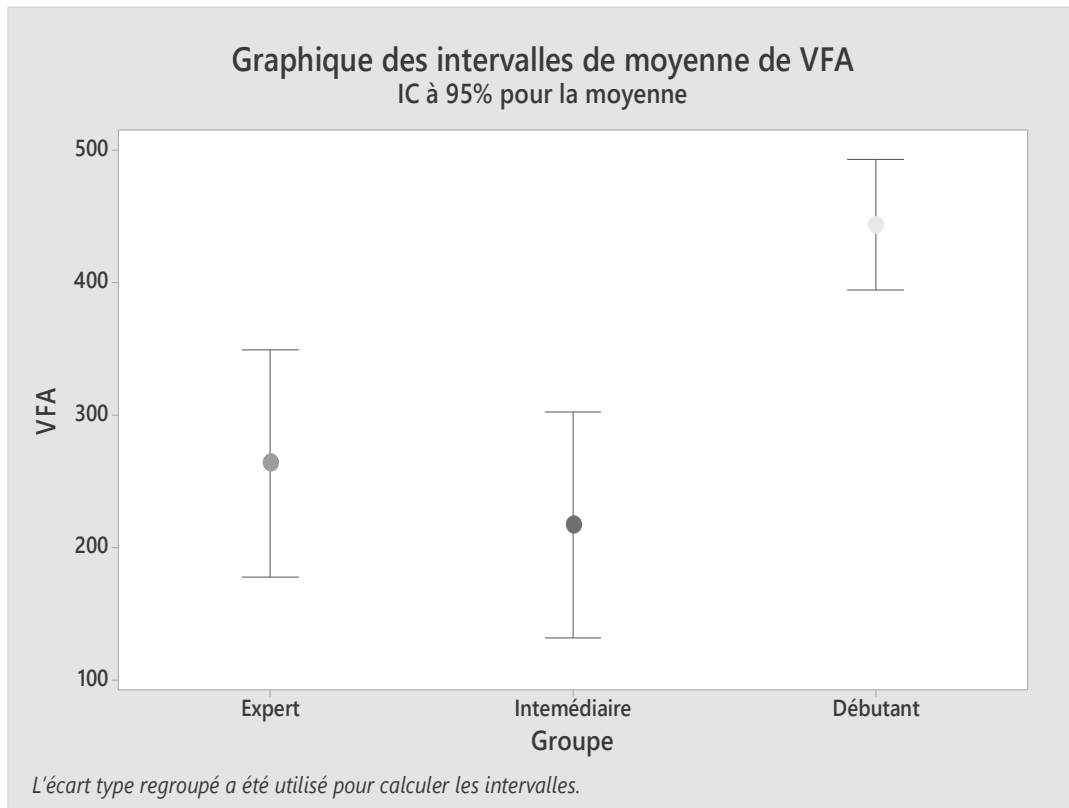


Figure 8 : Comparaison des intervalles de moyenne par groupe de niveau : Volume de Fuite Anastomotique.

VFA : Volume de Fuite Anastomotique

III.D.2. Corrélation de la métrique de perfusion avec les scores OSATS

III.D.2.a. Corrélation aux items spécifiques de la checklist OSATS

Nous avons testé la corrélation du VFA avec l'item « Respect des Tissus » et l'item « Qualité du Produit Fini » (Tableau 9). Ces deux items sont utilisés pour décrire les aspects de la performance impactant le plus fortement l'étanchéité des anastomoses.

	Respect des Tissus moyen	Qualité Produit Fini moyen	Respect Tissus Eval 1	Qualité Produit Fini Eval 1
VFA	-0,291	-0,372	-0,340	-0,371
	$p = 0,003$	$p < 0,0001$	$p < 0,0001$	$p = 0,0002$

Tableau 9 : Test de corrélation pour le Volume de Fuite Anastomotique et les items « Respect des Tissus » et « Qualité du Produit Fini ».

VFA : Volume de Fuite Anastomotique

La corrélation entre VFA et « Respect des Tissus » est statistiquement significative pour le score moyen et celui de l'évaluateur 1 ainsi que la corrélation entre VFA et « Qualité du Produit Fini ». Les corrélations observées sont d'intensité moyenne pour tous les tests.

III.D.2.b. Corrélation au Score Total et au Niveau Global

Nous avons ensuite testé la corrélation du VFA avec le Score Total moyen et le Niveau Global moyen. (Tableau 10).

	Score Total moyen	Niveau Global moyen	Score Total Eval 1	Niveau Global Eval 1
VFA	-0,388	-0,367	-0,394	-0,385
	$p < 0,0001$	$p < 0,0001$	$p < 0,0001$	$p < 0,0001$

Tableau 10 : Test de corrélation pour le Volume de Fuite Anastomotique et le Score Total et le Niveau Global de la checklist OSATS.

VFA : Volume de Fuite Anastomotique

La corrélation entre VFA et le Score Total est statistiquement significative pour le score moyen et celui de l'évaluateur 1 ainsi que la corrélation entre VFA et le Niveau Global. Les corrélations observées sont d'intensité moyenne pour tous les tests.

La figure 9 ci-dessous présente la répartition des points du VFA en fonction du Score Total moyen.

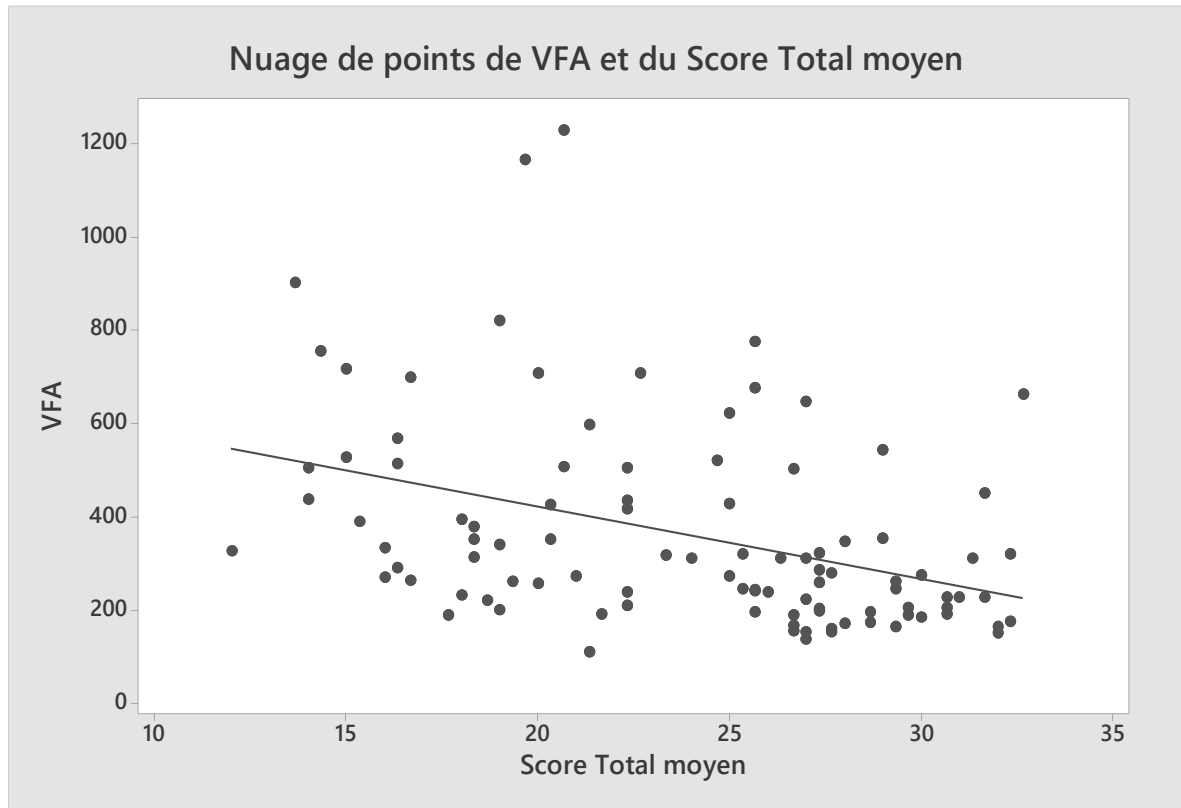


Figure 9 : Nuage de points du Volume de Fuite Anastomotique en fonction du Score Total moyen de la checklist OSATS.

VFA : Volume de Fuite Anastomotique

La droite d'ajustement de régression linéaire du Score Total moyen en fonction du VFA montre une relation inversement proportionnelle avec une relative dispersion des points. Les points très éloignés de la droite suggèrent une discordance importante entre la notation et le VFA, pouvant être expliqué par une notation trop stricte ou trop généreuse.

Le score attribué par les évaluateurs est d'autant plus bas que le VFA est important ce qui est traduit graphiquement par la relation inversement proportionnelle.

III.D.2.c. Corrélation aux autres items de la checklist OSATS

Enfin, nous avons testé la corrélation du VFA avec les autres items de la checklist OSATS (Tableau 11).

La corrélation entre VFA et les autres items de la checklist sont statistiquement significatifs pour le score moyen et celui de l'évaluateur 1. Les corrélations observées sont d'intensité moyenne pour tous les tests.

	Timing et Mouvement moyen	Gestion Instruments moyen	Nœuds et Suture moyen	Utilisation Aide Opérateur moyen	Fluidité Procédure moyen	Timing et Mouvement Eval 1	Gestion des instruments Eval 1	Nœuds et Suture Eval 1	Utilisation Aide Opérateur Eval 1	Fluidité Procédure Eval 1
VFA	-0,371 $p < 0,0001$	-0,388 $p < 0,0001$	-0,372 $p < 0,0001$	-0,306 $p = 0,003$	-0,388 $p = 0,0002$	-0,371 $p < 0,0001$	-0,388 $p < 0,0001$	-0,372 $p < 0,0001$	-0,306 $p = 0,002$	-0,340 $p = 0,002$

Tableau 11 : Test de corrélation pour le Volume de Fuite Anastomotique et les items restants de la checklist OSATS.

VFA : Volume de Fuite Anastomotique

III.D.2.d. Résumé

Le VFA est une mesure objective directement liée à la qualité d'une anastomose, l'intensité de la corrélation avec les items « Qualité du Produit Fini » et « Respect des Tissus » devrait être plus élevée que l'intensité de la corrélation avec les autres items de la checklist OSATS. L'absence de différence dans l'intensité de l'ensemble de ces corrélations met en évidence l'inadéquation des items « Qualité du Produit Fini » et « Respect des Tissus » pour l'évaluation du produit fini.

III.E. Analyse du mouvement

III.E.1. Discrimination des métriques de mouvement

III.E.1.a. Métriques générales

Nous avons testé si la durée de l'exercice permettait de discriminer entre les groupes de niveau par la méthode ANOVA (Tableau 12).

Groupe	N	Moyenne Durée Exercice (min:s)	Ecart-Type	IC à 95 %	Test -F	Valeur de p
Expert	20	07:33	02:29	(06:27 ; 08:39)	(2 , 97) = 42,66	< 0,0001
Intermédiaire	20	05:48	01:17	(04:42 ; 06:54)		
Débutant	60	11:12	02:45	(10:34 ; 11:50)		

Tableau 12 : Durée de l'exercice par groupe de niveau.

La durée moyenne par anastomose est de 7minutes et 33secondes ($\pm 02:29$) dans le GE, de 5minutes et 48secondes ($\pm 01:17$) dans le GI et de 11minutes et 12secondes ($\pm 02:45$) dans le GD. Le test d'ANOVA met en évidence une différence de moyenne significative ($F(2,97) = 13,63, p < 0,0001$) entre le GE et le GD et entre le GI et le GD mais pas de différence significative entre le GE et le GI (Figure 10).

Les participants de niveau expert et intermédiaire effectuent donc une anastomose plus rapidement que les participants de niveau débutant.

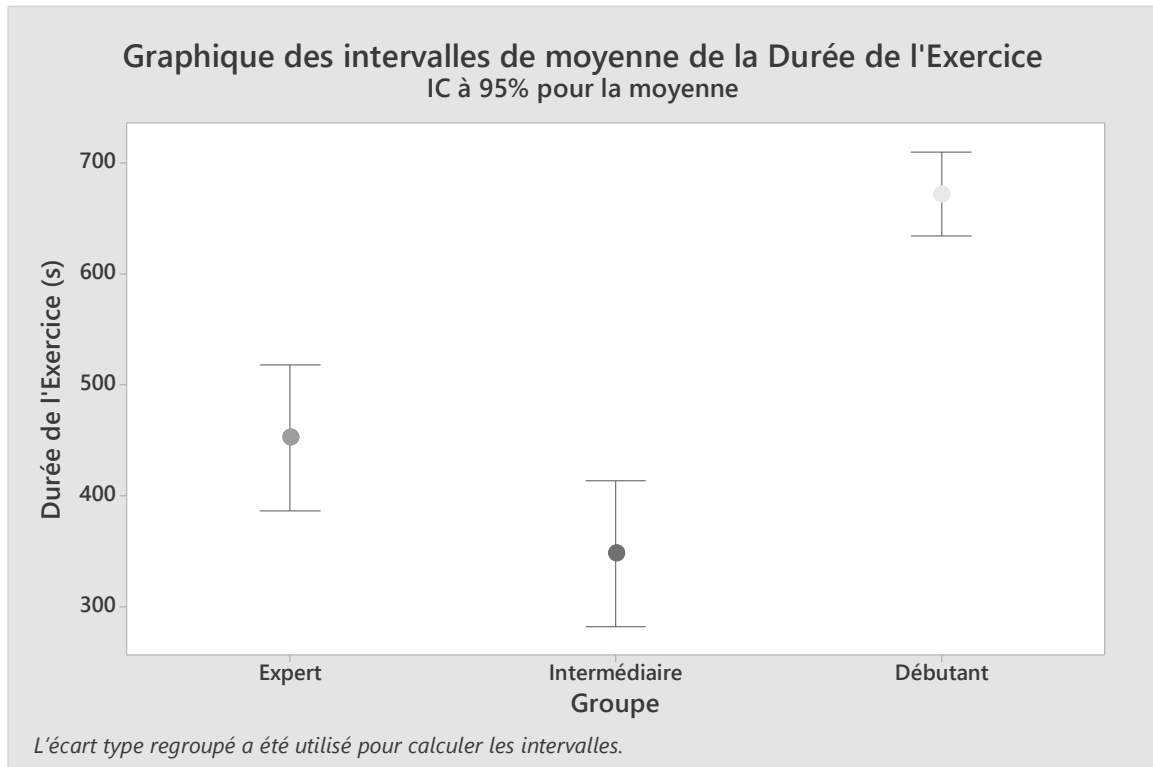


Figure 10 : Comparaison des intervalles de moyenne entre les groupes de niveau : Durée de l'Exercice.

Nous avons testé si le nombre moyen d'utilisation de la main sans instrument permettait de discriminer entre les groupes de niveau par la méthode ANOVA (Tableau 13).

Groupe	N	Moyenne Nb Utilisation Main	Ecart-Type	IC à 95 %	Test -F	Valeur de p
Expert	20	7.95	6.01	(4,83 ; 11,07)	(2 , 97) = 2,08	0,131
Intermédiaire	20	3.85	2.21	(0,73 ; 6,97)		
Débutant	60	7.15	8.25	(5,35 ; 8,95)		

Tableau 13 : Nombre d'utilisation de la main sans instrument par exercice par groupe de niveau.

Le nombre moyen d'utilisation de la main sans instrument par anastomose était de 7,15 ($\pm 8,25$) dans le GD, 3,85 ($\pm 2,21$) dans le GI, et 7,95 ($\pm 6,01$) dans le GE. Le test d'ANOVA ne met pas en évidence de différence significative ($F(2,97) = 2,08$, $p=0,131$) entre les groupes pour ce métrique (Figure 11).

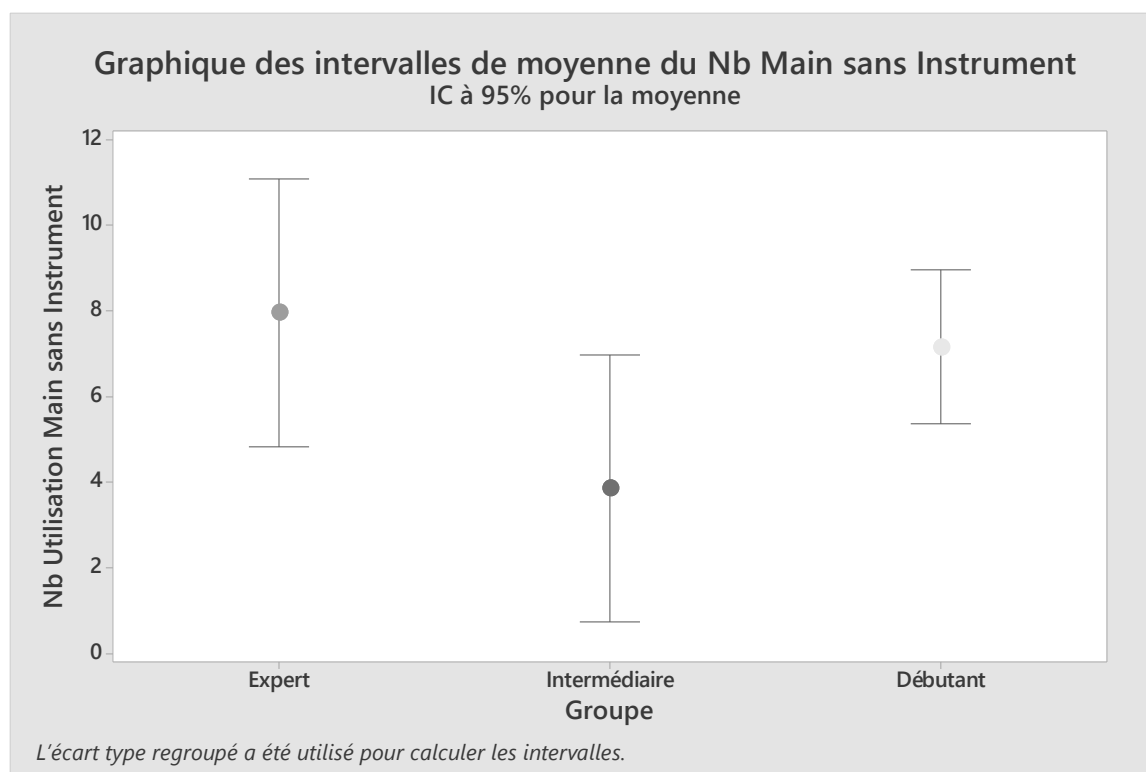


Figure 11 : Comparaison des intervalles de moyenne entre les groupes de niveau : Nombre d'Utilisation de la Main sans Instrument.

III.E.1.b. Métriques quantitatives des mouvements du porte-aiguille

Nous avons ensuite testé les métriques liées aux mouvements du porte-aiguille pour leur capacité à discriminer entre les groupes de niveau par la méthode ANOVA (Tableau 14).

Groupe	N	Moyenne Nombre de IN / Exercice	Ecart-Type	IC à 95 %	Test -F	Valeur de p
Expert	20	36.45	6.00	(33,40 ; 39,50)	(2 , 97) = 18,94	< 0,0001
Intermédiaire	20	27.30	4.52	(24,25 ; 30,35)		
Débutant	60	38.18	7.72	(36,42 ; 39,94)		
Groupe	N	Moyenne Nombre de OUT / Exercice	Ecart-Type	IC à 95 %	Test -F	Valeur de p
Expert	20	35.45	6.00	(32,40 ; 38,50)	(2 , 97) = 18,94	< 0,0001
Intermédiaire	20	26.30	4.52	(23,25 ; 29,35)		
Débutant	60	37.18	7.72	(35,42 ; 38,94)		

Tableau 14 : Métriques de mouvement du porte-aiguille en fonction des groupes de niveau.

Le nombre moyen de IN du porte-aiguille par anastomose est de 36,45 ($\pm 6,00$) dans le GE, de 27,30 ($\pm 4,52$) dans le GI et de 38,18 ($\pm 7,72$) dans le GD. Le nombre moyen de OUT du porte-aiguille par anastomose est de 35,45 ($\pm 6,00$) dans le GE, de 26,30 ($\pm 4,52$) dans le GI et de 37,18 ($\pm 7,72$) dans le GD. Les test d'ANOVA mettent en évidence une différence de moyenne significative ($F(2,97) = 18,94$, $p < 0,0001$) entre le GI et le GD et entre le GI et le GE mais pas de différence significative entre le GE et le GD pour ces deux métriques. (Figure 12).

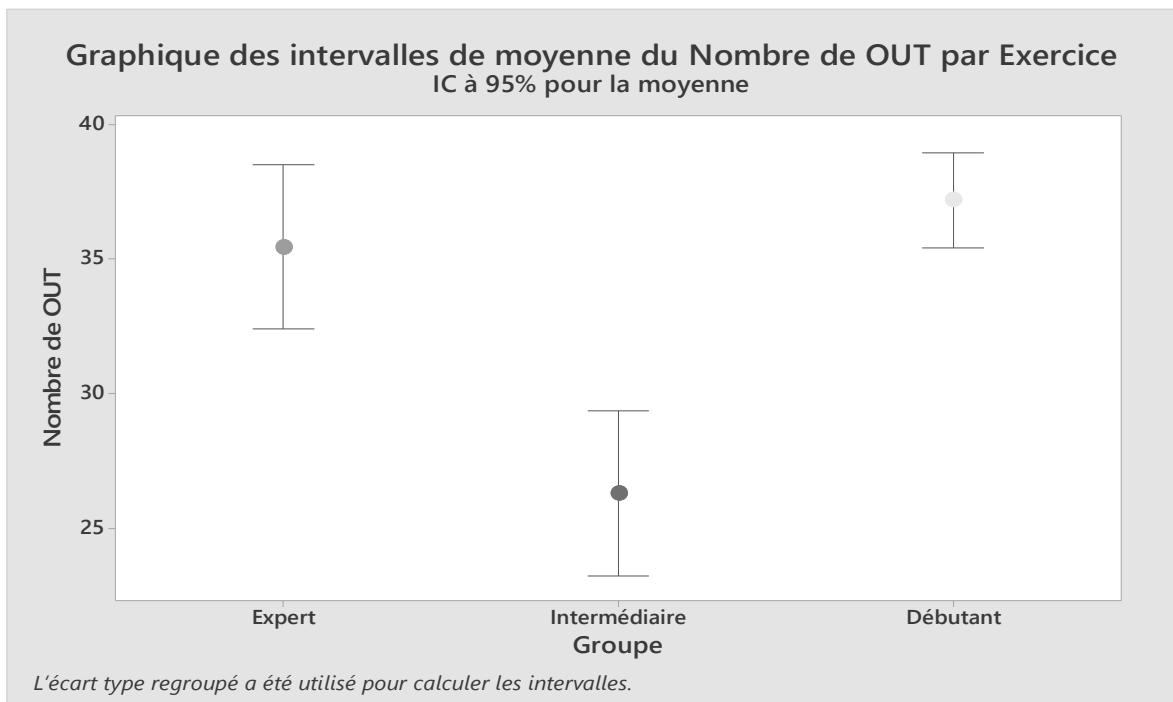
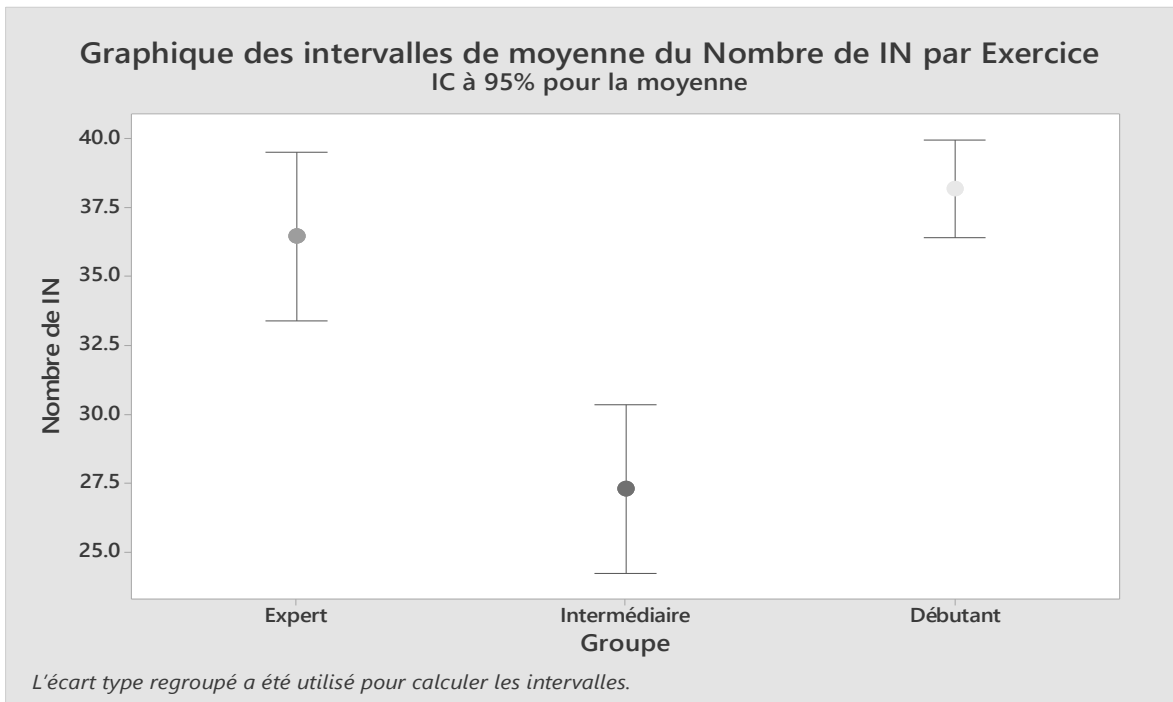


Figure 12 : Comparaison des intervalles de moyenne entre les groupes de niveau : Nombre de IN, Nombre de OUT du porte-aiguille.

III.E.1.c. Métriques qualifiant la durée IN du porte-aiguille

Nous avons ensuite testé les métriques liées aux mouvements IN du porte-aiguille pour leur capacité à discriminer entre les groupes de niveau par la méthode ANOVA (Tableau 15).

Groupe	N	Moyenne Durée Totale de IN / Exercice	Ecart-Type	IC à 95 %	Test -F	Valeur de p
Expert	20	04:18	01:32	(03:41;04:56)	(2 , 97) = 42,04	< 0,0001
Intermédiaire	20	03:30	01:00	(02:53;04:07)		
Débutant	60	06:28	01:27	(06:06;06:49)		
Groupe	N	Moyenne Durée de IN / Exercice	Ecart-Type	IC à 95 %	Test -F	Valeur de p
Expert	20	00:07	00:02	(00:06;00:08)	(2 , 97) = 29,01	< 0,0001
Intermédiaire	20	00:08	00:02	(00:07;00:09)		
Débutant	60	00:10	00:02	(00:10;00:11)		

Tableau 15 : Métriques relatives à la durée IN du porte-aiguille par groupe de niveau.

La moyenne de la durée totale de IN du porte-aiguille par anastomose est de 4minutes et 18secondes ($\pm 01:32$) dans le GE, 3minutes et 30secondes ($\pm 01:00$) dans le GI et 6minutes 28secondes ($\pm 01:27$) dans le GD. Le test d'ANOVA met en évidence une différence de moyenne significative ($F(2,97) = 42,04$, $p < 0,0001$) entre le GE et le GD et entre le GI et le GD mais pas de différence significative entre le GE et le GI pour ces métriques (Figure 13).

La moyenne de la durée de IN par anastomose est de 7secondes ($\pm 00:02$) dans le GE, 8secondes ($\pm 00:02$) dans le GI et 10secondes ($\pm 00:02$) dans le GD. Le test d'ANOVA met en évidence une différence de moyenne significative ($F(2,97) = 29,01$, $p < 0,0001$) entre le GE et le GD et entre le GI et le GD mais pas de différence significative entre le GE et le GI pour ces métriques (Figure 13).

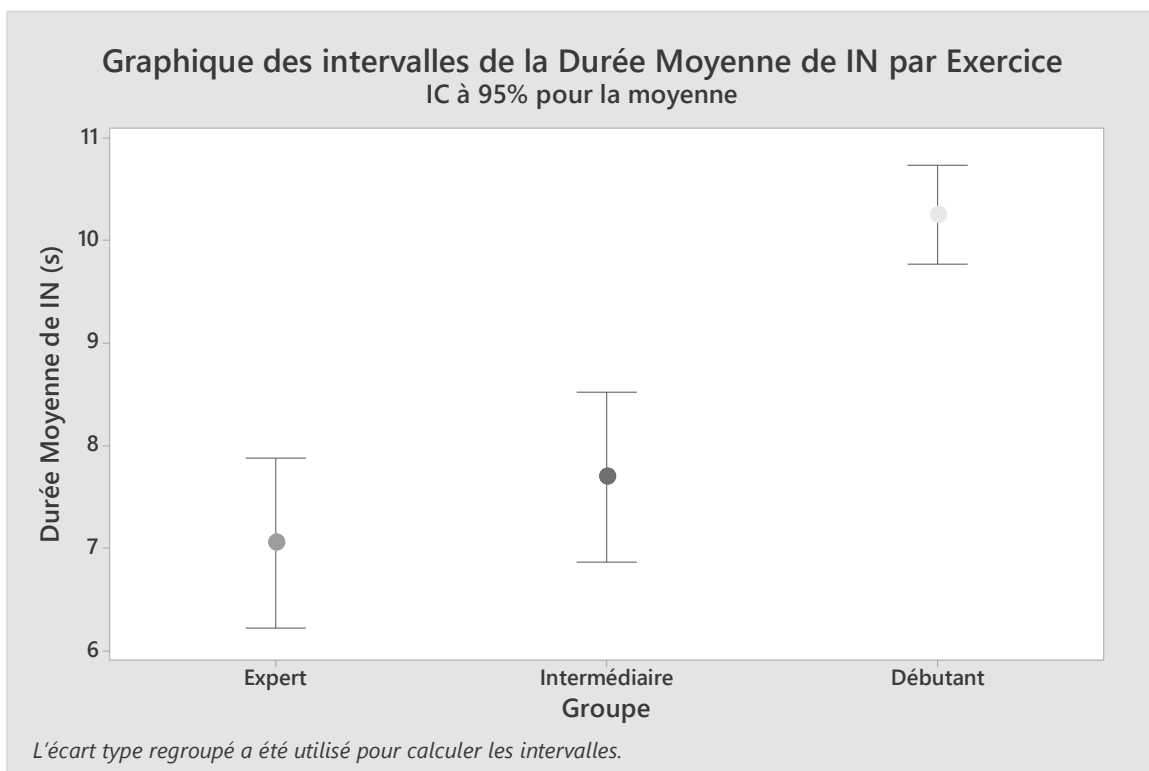
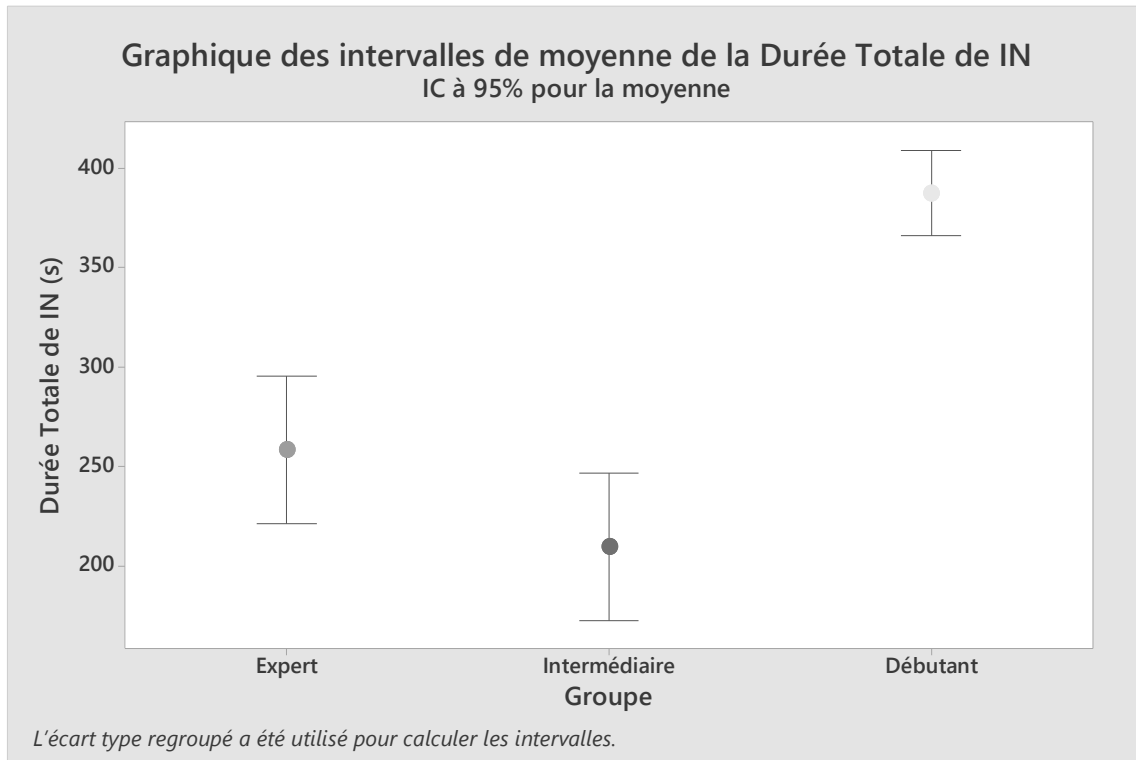


Figure 13 : Comparaison des intervalles de moyenne entre les groupes de niveau : Durée Totale de IN, Durée de IN.

La moyenne de la variance de la durée totale de IN par anastomose est de 92,98secondes ($\pm 32,36$) dans le GE, 94,29secondes ($\pm 25,18$) dans le GI et 157,76secondes ($\pm 42,87$) dans le GD.

Le test d'ANOVA met en évidence une différence de moyenne significative ($F(2,97) = 34,10$, $p < 0,0001$) entre le GE et le GD et entre le GI et le GD mais pas de différence significative entre le GE et le GI pour cette métrique (Tableau 16).

Groupe	N	Moyenne Variance Durée Totale de IN	Ecart-Type	IC à 95 %	Test -F	Valeur de p
Expert	20	3,10	1,08	(2,54 ; 3,66)	(2 , 97) = 34,10	< 0,0001
Intermédiaire	20	3,14	0,84	(2,58 ; 3,71)		
Débutant	60	5,26	1,43	(4,93 ; 5,58)		

Tableau 16 : Variance de la Durée Totale de IN en fonction des groupes de niveau.

III.E.1.d. Métriques qualifiant la durée OUT du porte-aiguille

Nous avons ensuite testé les métriques liées aux mouvements OUT du porte-aiguille pour leur capacité à discriminer entre les groupes de niveau par la méthode ANOVA (Tableau 17).

Groupe	N	Moyenne Durée Totale de OUT / Exercice	Ecart-Type	IC à 95 %	Test -F	Valeur de p
Expert	20	03:14	01:04	(02:36 ; 03:52)	(2 , 97) = 24,96	< 0,0001
Intermédiaire	20	02:19	00:26	(01:41 ; 02:56)		
Débutant	60	04:44	01:42	(04:23 ; 05:06)		
Groupe	N	Moyenne Durée de OUT / Exercice	Ecart-Type	IC à 95 %	Test -F	Valeur de p
Expert	20	00:05	00:01	(00:05 ; 00:06)	(2 , 97) = 18,77	< 0,0001
Intermédiaire	20	00:05	00:01	(00:05 ; 00:06)		
Débutant	60	00:08	00:02	(00:07 ; 00:08)		

Tableau 17 : Métriques relatives à la durée OUT du porte-aiguille par groupe de niveau.

La moyenne de la durée totale de OUT du porte-aiguille par anastomose est de 3minutes et 14secondes ($\pm 01:04$) dans le GE, 2minutes et 19secondes ($\pm 00:26$) dans le GI et 4minutes et 44secondes ($\pm 01:42$) dans le GD. Le test d'ANOVA met en évidence une différence de moyenne significative ($F(2,97) = 24,96$, $p < 0,0001$) entre le GE et le GD et entre le GI et le GD mais pas de différence significative entre le GE et le GI.

La moyenne de la durée de OUT par anastomose est de 5secondes ($\pm 00:01$) dans le GE, 5secondes ($\pm 00:01$) dans le GI et 7secondes ($\pm 00:02$) dans le GD. Le test d'ANOVA met en évidence une différence de moyenne significative ($F(2,97) = 18,77$, $p < 0,0001$) entre le GE et le GD et entre le GI et le GD mais pas de différence significative entre le GE et le GI pour ces métriques

La variance moyenne de la durée de OUT par anastomose est de 3secondes ($\pm 0,80$) dans le GE, 3secondes ($\pm 0,87$) dans le GI et 6secondes ($\pm 2,18$) dans le GD (Tableau 18).

Groupe	N	Moyenne Variance Durée de OUT	Ecart-Type	IC à 95 %	Test -F	Valeur de p
Expert	20	3,55	0,80	(2,76 ; 4,34)	(2,97) = 33,19	< 0,0001
Intermédiaire	20	3,59	0,87	(2,80 ; 4,38)		
Débutant	60	6,53	2,18	(6,07 ; 6,99)		

Tableau 18 : Variance de la Durée Totale de OUT en fonction des groupes de niveau.

Le test d'ANOVA met en évidence une différence de moyenne significative ($F(2,97) = 33,19$, $p < 0,0001$) entre le GE et le GD et entre le GI et le GD mais pas de différence significative entre le GE et le GI pour cette métrique.

III.E.1.e. Résumé

En s'intéressant aux mouvements du porte-aiguille, on constate que les participants de niveau intermédiaire ont réalisé moins de mouvement du porte-aiguille pour la suture d'une anastomose que les participants de niveau expert et débutant.

La durée totale du IN et la durée totale du OUT sur l'exercice sont significativement inférieures pour les participants expert et intermédiaires par rapport aux participants débutants.

De même la variance de la durée moyenne de IN et de la durée moyenne de OUT sont significativement inférieures pour les participants expert et intermédiaire par rapport aux participants débutants. Ceci signifie que la durée d'un mouvement IN ou d'un mouvement OUT du porte-aiguille varie moins pour les participants de niveau expert et intermédiaire que pour les participants de niveau débutant. On aborde ici la mesure de la régularité des mouvements des participants.

III.E.2. Corrélation des métriques de mouvement aux OSATS scores

III.E.2.a. Corrélation aux items spécifiques de la checklist

Nous avons testé la corrélation des métriques discriminantes avec l’item « Timing et Mouvement » et l’item « Gestion des Instruments » (Tableau 9). Ces deux items sont utilisés pour décrire les aspects de la performance en lien avec les mouvements du porte-aiguille. (Tableau 19).

	Timing et Mouvement moyen	Gestion Instruments moyen	Timing et Mouvement Eval 1	Gestion Instrument Eval 1
Durée Exercice	-0,828 $p < 0,0001$	-0,771 $p < 0,0001$	-0,649 $p < 0,0001$	-0,675 $p < 0,0001$
Durée Totale IN / Exercice	-0,768 $p < 0,0001$	-0,713 $p < 0,0001$	-0,601 $p < 0,0001$	-0,640 $p < 0,0001$
Durée IN / Exercice	-0,619 $p < 0,0001$	-0,613 $p < 0,0001$	-0,544 $p < 0,0001$	-0,585 $p < 0,0001$
Variance Durée Totale IN / Exercice	-0,627 $p < 0,0001$	-0,577 $p < 0,0001$	-0,528 $p < 0,0001$	-0,533 $p < 0,0001$
Durée Totale OUT / Exercice	-0,767 $p < 0,0001$	-0,714 $p < 0,0001$	-0,600 $p < 0,0001$	-0,609 $p < 0,0001$
Durée OUT / Exercice	-0,718 $p < 0,0001$	-0,703 $p < 0,0001$	-0,626 $p < 0,0001$	-0,635 $p < 0,0001$
Variance Durée Totale OUT / Exercice	-0,698 $p < 0,0001$	-0,673 $p < 0,0001$	-0,615 $p < 0,0001$	-0,635 $p < 0,0001$

Tableau 19 : Test de corrélation pour les métriques de mouvement discriminantes et les items les plus directement liés à ces métriques dans la checklist OSATS.

La corrélation entre les métriques retenues et l’item « Timing et Mouvement » est statistiquement significative pour le score moyen et celui de l’évaluateur 1 ainsi que la corrélation entre les métriques retenues et l’item « Gestion des Instruments ». Les corrélations observées sont d’intensité forte à très forte pour tous les tests.

III.E.2.b. Corrélation au Score Total et au Niveau Global

Nous avons ensuite testé la corrélation des métriques discriminantes avec le Score Total et le Niveau Global (Tableau 20).

	Score Total moyen	Niveau Global moyen	Score Total Eval 1	Niveau Global Eval 1
Durée Exercice	-0,745 <i>p</i> < 0,0001	-0,725 <i>p</i> < 0,0001	-0,607 <i>p</i> < 0,0001	-0,587 <i>p</i> < 0,0001
Durée Totale IN / Exercice	-0,693 <i>p</i> < 0,0001	-0,655 <i>p</i> < 0,0001	-0,558 <i>p</i> < 0,0001	-0,513 <i>p</i> < 0,0001
Durée IN / Exercice	-0,609 <i>p</i> < 0,0001	-0,530 <i>p</i> < 0,0001	-0,512 <i>p</i> < 0,0001	-0,397 <i>p</i> < 0,0001
Variance Durée Totale IN / Exercice	-0,578 <i>p</i> < 0,0001	-0,515 <i>p</i> < 0,0001	-0,486 <i>p</i> < 0,0001	-0,383 <i>p</i> < 0,0001
Durée Totale OUT / Exercice	-0,686 <i>p</i> < 0,0001	-0,689 <i>p</i> < 0,0001	-0,567 <i>p</i> < 0,0001	-0,577 <i>p</i> < 0,0001
Durée OUT / Exercice	-0,699 <i>p</i> < 0,0001	-0,684 <i>p</i> < 0,0001	-0,610 <i>p</i> < 0,0001	-0,575 <i>p</i> < 0,0001
Variance Durée Totale OUT / Exercice	-0,676 <i>p</i> < 0,0001	-0,676 <i>p</i> < 0,0001	-0,597 <i>p</i> < 0,0001	-0,590 <i>p</i> < 0,0001

Tableau 20 : Test de corrélation pour les métriques de mouvement discriminantes et le Score Total et le Niveau Global.

La corrélation entre les métriques discriminantes et le Score Total est statistiquement significative pour le score moyen et celui de l'évaluateur 1 ainsi que la corrélation entre les métriques discriminantes et le Niveau Global. Les corrélations observées sont d'intensité forte pour tous les tests.

La figure 14 ci-dessous présente la répartition des points des métriques discriminantes en fonction du Score Total moyen.

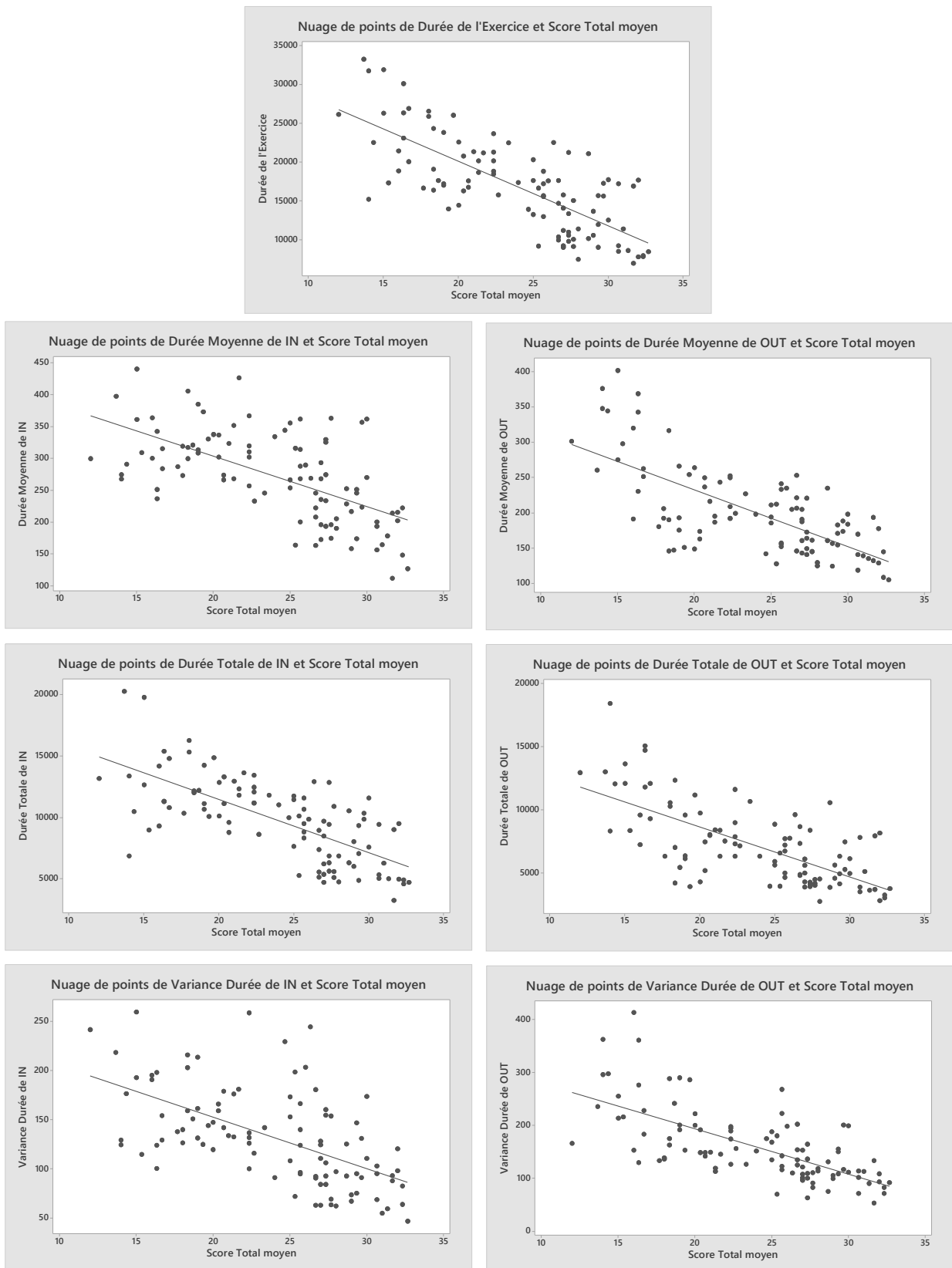


Figure 14 : Nuages de points des métriques de mouvements discriminantes en fonction du score total moyen attribué.

La droite d'ajustement de régression linéaire du Score Total moyen en fonction de chacune des métriques montre une relation inversement proportionnelle, représentant graphiquement que le score attribué par les évaluateurs est d'autant plus bas que les valeurs des métriques sont importantes.

On retrouve ici un nuage de point plus groupé autour de la droite d'ajustement de régression linéaire pour les métriques « Durée Totale de IN », « Durée Totale de OUT » et « Variance Durée de OUT » suggérant une corrélation plus forte de ces métriques aux évaluations OSATS.

III.E.2.c. Corrélation aux autres items de la checklist OSATS

Enfin, nous avons testé la corrélation des métriques discriminantes avec les autres items de la checklist OSATS. (Tableau 21).

	Respect des Tissus moyen	Noeuds et Suture moyen	Opérateur moyen	Utilisation Aide moyen	Fluidité Procédure moyen	Qualité Produit Fini moyen	Respect Tissus Eval 1	Noeuds et Suture Eval 1	Opérateur Eval 1	Utilisation Aide Eval 1	Fluidité Procédure Eval 1	Qualité Produit Fini Eval 1
Durée Exercice	-0,488 <i>p</i> < 0,0001	-0,711 <i>p</i> < 0,0001	-0,695 <i>p</i> < 0,0001	-0,769 <i>p</i> < 0,0001	-0,455 <i>p</i> < 0,0001	-0,419 <i>p</i> < 0,0001	-0,613 <i>p</i> < 0,0001	-0,539 <i>p</i> < 0,0001	-0,629 <i>p</i> < 0,0001	-0,247 <i>p</i> < 0,0001		
Durée Totale IN / Exercice	-0,491 <i>p</i> < 0,0001	-0,638 <i>p</i> < 0,0001	-0,670 <i>p</i> < 0,0001	-0,734 <i>p</i> < 0,0001	-0,383 <i>p</i> < 0,0001	-0,416 <i>p</i> < 0,0001	-0,550 <i>p</i> < 0,0001	-0,500 <i>p</i> < 0,0001	-0,594 <i>p</i> < 0,0001	-0,172 <i>p</i> = 0,090		
Durée IN / Exercice	-0,506 <i>p</i> < 0,0001	-0,571 <i>p</i> < 0,0001	-0,591 <i>p</i> < 0,0001	-0,628 <i>p</i> < 0,0001	-0,366 <i>p</i> < 0,0001	-0,451 <i>p</i> < 0,0001	-0,495 <i>p</i> < 0,0001	-0,446 <i>p</i> < 0,0001	-0,528 <i>p</i> < 0,0001	-0,146 <i>p</i> = 0,147		
Variance Durée Totale IN / Exercice	-0,474 <i>p</i> < 0,0001	-0,520 <i>p</i> < 0,0001	-0,567 <i>p</i> < 0,0001	-0,596 <i>p</i> < 0,0001	-0,325 <i>p</i> = 0,0010	-0,423 <i>p</i> < 0,0001	-0,504 <i>p</i> < 0,0001	-0,392 <i>p</i> < 0,0001	-0,494 <i>p</i> < 0,0001	-0,147 <i>p</i> = 0,144		
Durée Totale OUT / Exercice	-0,410 <i>p</i> < 0,0001	-0,681 <i>p</i> < 0,0001	-0,614 <i>p</i> < 0,0001	-0,689 <i>p</i> < 0,0001	-0,463 <i>p</i> < 0,0001	-0,358 <i>p</i> < 0,0001	-0,587 <i>p</i> < 0,0001	-0,499 <i>p</i> < 0,0001	-0,570 <i>p</i> < 0,0001	-0,289 <i>p</i> = 0,003		
Durée OUT / Exercice	-0,466 <i>p</i> < 0,0001	-0,727 <i>p</i> < 0,0001	-0,606 <i>p</i> < 0,0001	-0,676 <i>p</i> < 0,0001	-0,547 <i>p</i> < 0,0001	-0,432 <i>p</i> < 0,0001	-0,629 <i>p</i> < 0,0001	-0,525 <i>p</i> < 0,0001	-0,585 <i>p</i> < 0,0001	-0,355 <i>p</i> < 0,0001		
Variance Durée Totale OUT / Exercice	-0,478 <i>p</i> < 0,0001	-0,660 <i>p</i> < 0,0001	-0,636 <i>p</i> < 0,0001	-0,662 <i>p</i> < 0,0001	-0,501 <i>p</i> < 0,0001	-0,449 <i>p</i> < 0,0001	-0,576 <i>p</i> < 0,0001	-0,549 <i>p</i> < 0,0001	-0,585 <i>p</i> < 0,0001	-0,306 <i>p</i> = 0,002		

Tableau 21 : Test de corrélation pour les métriques de mouvement discriminantes et les items restants de la checklist OSATS.

Les corrélations entre les métriques discriminantes et les autres items de la checklist sont statistiquement significatives pour le score moyen et celui de l'évaluateur 1 sauf pour l'item « Qualité du Produit Fini ». Les corrélations observées sont d'intensité moyenne à forte pour tous les tests sauf pour les tests réalisés avec l'item « Qualité du Produit Fini » qui, s'ils sont statistiquement significatifs, présentent une intensité faible de corrélation. L'absence de corrélation significative ou la corrélation faible des métriques de mouvement avec l'item « Qualité du Produit Fini » souligne encore une fois la subjectivité de cet item de la checklist OSATS.

III.E.2.d. Résumé

Les métriques présentées ci-dessus sont des mesures objectives des mouvements du participant et l'intensité de la corrélation de ces dernières avec les items « Timing et Mouvement » et « Gestion des Instruments » valide la représentativité de ces items pour l'évaluation de la qualité des mouvements du participant par la checklist OSATS. Ces résultats traduisent le lien entre les paramètres des mouvements du chirurgien qui, s'ils sont rapides et réguliers, seront associés à un score haut sur les items « Timing et Mouvement » et « Gestion des Instruments ».

III.F. Analyse de la suture

III.F.1. Comparaison des métriques de suture avec et sans suture en tension

Les métriques de suture ont été recueillies sur les anastomoses avec et sans le fil en tension (Tableau 22).

	Avec Suture	Sans Suture	Valeur de p
Longueur du Point (mm)	2,539 (2,194-2,884)	3,664 (3,070-4,258)	$p < 0,0001$
Distance au PE+1 (mm)	2,685 (2,254-3,116)	2,725 (2,326-3,124)	$p = 0,05$
Distance au PS+1 (mm)	2,676 (2,243-3,109)	2,715 (2,291-3,139)	$p = 0,049$
Distance Berge au PE (mm)	1,204 (0,908-1,501)	1,592 (1,275-1,909)	$p < 0,0001$
Distance Berge au PS (mm)	1,010 (0,812-1,209)	1,647 (1,361-1,934)	$p < 0,0001$

Tableau 22 : Métriques de suture présentées avec et sans suture en tension

La longueur moyenne d'un point avec suture était de 2,5mm ($\pm 0,35$ mm) et sans suture de 3,6mm ($\pm 0,59$ mm).

La distance moyenne entre les points d'entrée avec suture était de 2,6mm ($\pm 0,43$ mm) et sans suture de 2,7mm ($\pm 0,40$ mm). La distance moyenne entre les points de sortie avec suture était de 2,6mm ($\pm 0,43$ mm) et sans suture de 2,7mm ($\pm 0,43$ mm). La distance moyenne à la berge du point d'entrée avec suture était de 1,2mm ($\pm 0,30$ mm) et sans suture est de 1,5mm ($\pm 0,32$ mm). La distance moyenne à la berge du point de sortie avec suture était de 1mm ($\pm 0,20$ mm) et sans suture est de 1,6mm ($\pm 0,29$ mm).

Toutes les métriques sont statistiquement différentes entre le groupe « Avec Suture » et « Sans Suture », ce qui souligne l'importance du maintien de la tension sur le surjet lors de la réalisation des anastomoses vasculaires pour obtenir une anastomose satisfaisante.

III.F.2. Discrimination des métriques de suture

III.F.2.a. Métriques de suture générales

Nous avons testé si le nombre de point moyen par exercice et le nombre de points multiples permettaient de discriminer entre les groupes de niveau par la méthode ANOVA (Tableau 23).

Groupe	N	Moyenne Nombre de Point / Exercice	Ecart-Type	IC à 95 %	Test -F	Valeur de p
Expert	20	27,65	2,323	(26,177 ; 29,123)	(2 , 97) = 18,09	< 0,0001
Intermédiaire	20	21,35	2,007	(19,877 ; 22,823)		
Débutant	60	24,75	3,882	(23,900 ; 25,600)		
Groupe	N	Moyenne Nombre de Points Multiples	Ecart-Type	IC à 95 %	Test -F	Valeur de p
Expert	20	0,700	0,733	(-0,033 ; 1,433)	(2 , 97) = 5,72	0,004
Intermédiaire	20	0,500	1,147	(-0,233 ; 1,233)		
Débutant	60	1,733	1,973	(1,310 ; 2,157)		

Tableau 23 : Métriques de suture générales en fonction des groupes de niveau

Le nombre moyen de point par exercice est de 27,7points ($\pm 2,323$) dans le GE, de 21,4points ($\pm 2,007$) dans le GI et de 24,8points ($\pm 3,882$) dans le GD. Le test d'ANOVA met en évidence une différence de moyenne significative ($F(2,97) = 18,09$, $p < 0,0001$) entre le GE et le GD, entre le GI et le GD et également entre le GE et le GI (Figure 15).

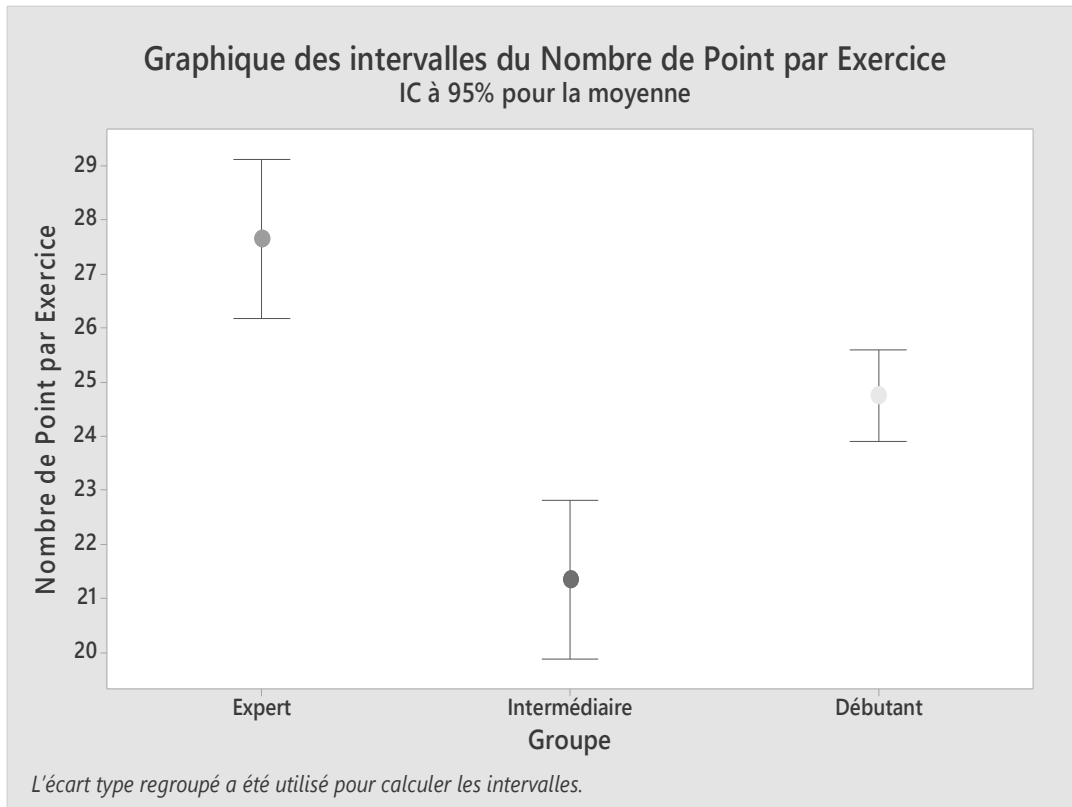


Figure 15 : Comparaison des intervalles de moyenne entre les groupes de niveau : Nombre de Point par Exercice.

Le nombre moyen de point multiple par exercice est de 0,7points ($\pm 0,73$) dans le GE, de 0,5points ($\pm 1,15$) dans le GI et de 1,7points ($\pm 1,97$) dans le GD. Le test d'ANOVA met en évidence une différence de moyenne significative ($F(2,97) = 5,72$, $p = 0,004$) entre le GI et le GD uniquement (Figure 16).

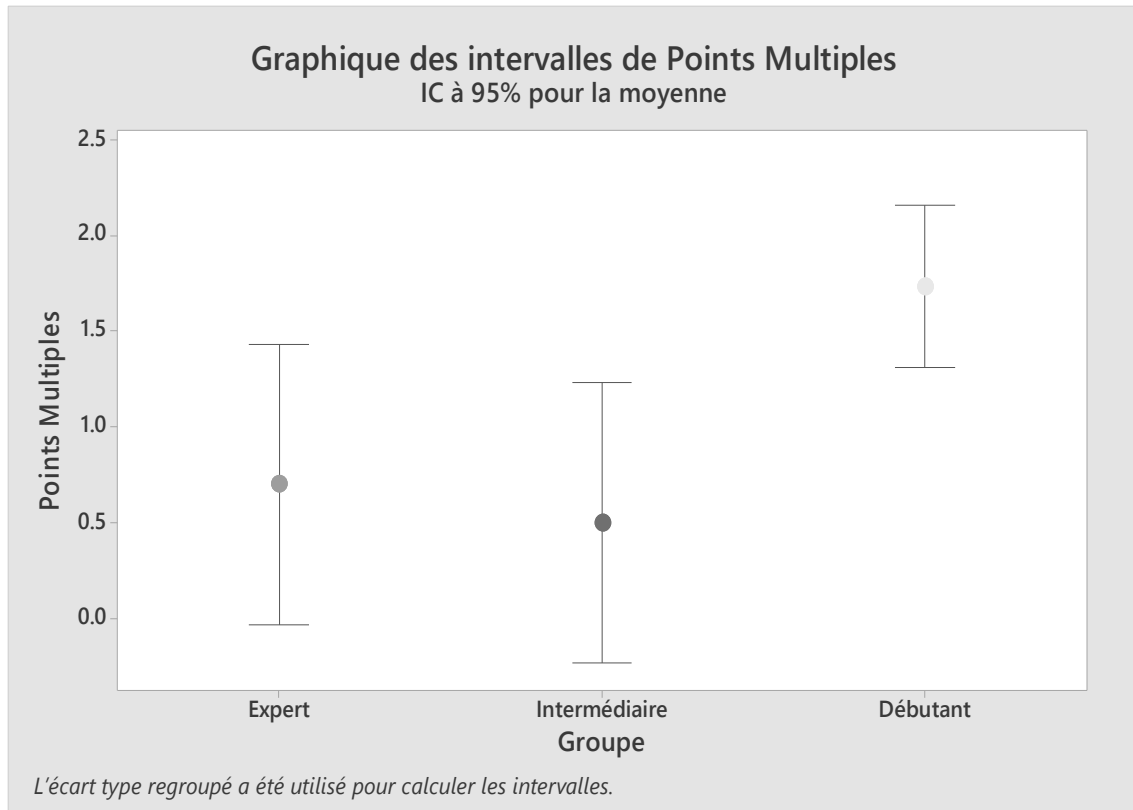


Figure 16 : Comparaison des intervalles de moyenne entre les groupes de niveau : Nombre de Points Multiples.

III.F.2.b. Métriques de suture avec fil en tension

Nous avons ensuite testé si les métriques descriptives du produit fini avec la suture en tension permettaient de discriminer entre les groupes de niveau par la méthode ANOVA (Tableau 24).

Groupe	N	Moyenne Longueur Point	Ecart-Type	IC à 95 %	Test -F	Valeur de p	Groupe	N	Moyenne Variance Longueur Point	Ecart-Type	IC à 95 %	Test -F	Valeur de p
Expert	20	2,250	0,240	(2,109 ; 2,390)	(2 , 97) = 10,62	< 0,0001	Expert	20	0,500	0,174	(0,372 ; 0,628)	(2 , 97) = 2,00	0,141
Intermédiaire	20	2,639	0,268	(2,498 ; 2,778)			Intermédiaire	20	0,475	0,199	(0,347 ; 0,602)		
Débutant	60	2,603	0,349	(2,521 ; 2,683)			Débutant	60	0,604	0,337	(0,530 ; 0,677)		
Groupe	N	Moyenne Distance PE+1	Ecart-Type	IC à 95 %	Test -F	Valeur de p	Groupe	N	Moyenne Distance PS+1	Ecart-Type	IC à 95 %	Test -F	Valeur de p
Expert	20	2,339	0,191	(2,170 ; 2,509)	(2 , 97) = 14,43	< 0,0001	Expert	20	2,333	0,182	(2,162 ; 2,503)	(2 , 97) = 14,46	< 0,0001
Intermédiaire	20	2,986	0,271	(2,816 ; 3,155)			Intermédiaire	20	2,985	0,258	(2,815 ; 3,156)		
Débutant	60	2,699	0,452	(2,601 ; 2,797)			Débutant	60	2,687	0,459	(2,588 ; 2,785)		
Groupe	N	Moyenne Variance Distance PE+1	Ecart-Type	IC à 95 %	Test -F	Valeur de p	Groupe	N	Moyenne Variance Distance PS+1	Ecart-Type	IC à 95 %	Test -F	Valeur de p
Expert	20	0,610	0,191	(-2,882 ; 4,102)	(2 , 97) = 0,41	0,667	Expert	20	0,686	0,270	(-2,254 ; 3,626)	(2 , 97) = 0,43	0,653
Intermédiaire	20	0,780	0,418	(-2,713 ; 4,272)			Intermédiaire	20	0,749	0,476	(-2,191 ; 3,690)		
Débutant	60	2,140	10,090	(0,120 ; 4,160)			Débutant	60	1,970	8,490	(0,270 ; 3,670)		
Groupe	N	Moyenne Distance Berge à PE	Ecart-Type	IC à 95 %	Test -F	Valeur de p	Groupe	N	Moyenne Distance Berge à PS	Ecart-Type	IC à 95 %	Test -F	Valeur de p
Expert	20	1,016	0,186	(0,890 ; 1,141)	(2 , 97) = 5,55	0,005	Expert	20	0,964	0,16	(0,876 ; 1,052)	(2 , 97) = 0,99	0,376
Intermédiaire	20	1,24	0,329	(1,114 ; 1,366)			Intermédiaire	20	1,052	0,212	(0,964 ; 1,140)		
Débutant	60	1,255	0,293	(1,182 ; 1,327)			Débutant	60	1,012	0,205	(0,961 ; 1,063)		
Groupe	N	Moyenne Variance Distance Berge à PE	Ecart-Type	IC à 95 %	Test -F	Valeur de p	Groupe	N	Moyenne Variance Distance Berge à PS	Ecart-Type	IC à 95 %	Test -F	Valeur de p
Expert	20	0,260	0,085	(0,181 ; 0,339)	(2 , 97) = 6,16	0,003	Expert	20	0,333	0,139	(0,227 ; 0,439)	(2 , 97) = 6,80	0,002
Intermédiaire	20	0,452	0,228	(0,373 ; 0,532)			Intermédiaire	20	0,583	0,409	(0,477 ; 0,688)		
Débutant	60	0,388	0,183	(0,342 ; 0,433)			Débutant	60	0,379	0,182	(0,318 ; 0,440)		

Tableau 24 : Métrique de suture avec le fil en tension présentées par groupe de niveau.

La longueur moyenne des points est de 2,3mm ($\pm 0,240$) dans le GE, de 2,6mm ($\pm 0,268$) dans le GI et de 2,6mm ($\pm 0,349$) dans le GD. La distance moyenne entre les points d'entrée est de 2,3mm ($\pm 0,191$) dans le GE, de 2,9mm ($\pm 0,271$) dans le GI et de 2,7mm ($\pm 0,452$) dans le GD. La distance moyenne entre les points de sortie est de 2,3mm ($\pm 0,182$) dans le GE, de 2,9mm ($\pm 0,258$) dans le GI et de 2,7mm ($\pm 0,459$) dans le GD. La variance de la distance moyenne à la berge du point de sortie est de 0,3 ($\pm 0,139$) dans le GE, de 0,6 ($\pm 0,409$) dans le GI et de 0,4 ($\pm 0,182$) dans le GD. Les tests d'ANOVA pour ces quatre métriques mettent en évidence une différence significative ($F(2,97) = [6,80-14,46]$, $p = [<0,0001-0,002]$) entre le GE et le GD, entre le GE et le GI mais pas de différence significative entre le GI et GD (Figure 17).

La distance moyenne à la berge du point d'entrée est de 1,0mm ($\pm 0,186$) dans le GE, de 1,2mm ($\pm 0,329$) dans le GI et de 1,3mm ($\pm 0,293$) dans le GD. Le test d'ANOVA met en évidence une différence de moyenne significative ($F(2,97) = 5,55$, $p = 0,005$) entre le GE et le GD uniquement (Figure 17).

La variance de la distance moyenne à la berge du point d'entrée est de 0,3 ($\pm 0,085$) dans le GE, de 0,5 ($\pm 0,228$) dans le GI et de 0,4 ($\pm 0,183$) dans le GD. Le test d'ANOVA met en évidence une différence de moyenne significative ($F(2,97) = 6,16$, $p = 0,003$) entre le GE et le GI uniquement (Figure 17).

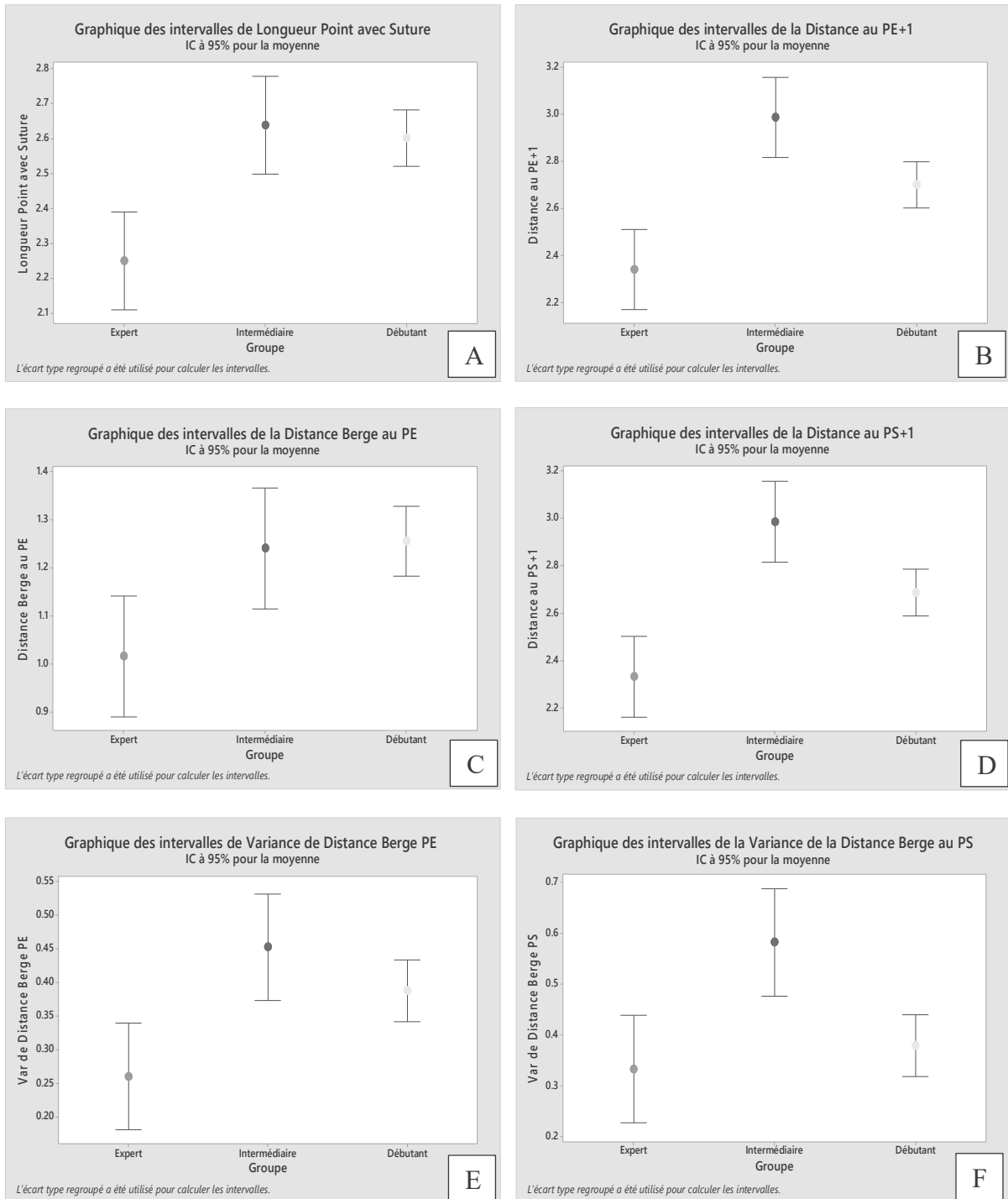


Figure 17 : Comparaison des intervalles de moyenne des métriques de suture avec fil en tension en fonction des groupes de niveau.

A. Longueur des points ; B. Distance entre les points d'entrée ; C. Distance entre les points de sortie ; D. Distance à la berge du point d'entrée ; E. Variance de la distance à la berge du point d'entrée ; F. Variance de la distance à la berge du point de sortie.

III.F.2.c. Métriques de suture sans fil en tension

Nous avons testé si les métriques descriptives du produit fini sans la suture en tension permettaient de discriminer entre les groupes de niveau par la méthode ANOVA (Tableau 25).

Groupe	N	Moyenne Longueur Point S	Ecart-Type	IC à 95 %	Test -F	Valeur de p	Groupe	N	Moyenne Variance Longueur Point S	Ecart-Type	IC à 95 %	Test -F	Valeur de p
Expert	20	3,238	0,321	(2,989 ; 3,486)	(2 , 97) = 7,27	0,001	Expert	20	0,687	0,320	(0,374 ; 1,000)	(2 , 97) = 6,02	0,003
Intermédiaire	20	3,785	0,611	(3,537 ; 4,034)			Intermédiaire	20	0,732	0,284	(0,419 ; 1,045)		
Débutant	60	3,766	0,601	(3,622 ; 3,909)			Débutant	60	1,208	0,871	(1,027 ; 1,389)		
Groupe	N	Moyenne Distance PE+1 S	Ecart-Type	IC à 95 %	Test -F	Valeur de p	Groupe	N	Moyenne Distance PS+1 S	Ecart-Type	IC à 95 %	Test -F	Valeur de p
Expert	20	2,411	0,205	(2,260 ; 2,563)	(2 , 97) = 19,03	< 0,0001	Expert	20	2,391	0,184	(2,227 ; 2,555)	(2 , 97) = 16,58	< 0,0001
Intermédiaire	20	3,076	0,300	(2,925 ; 3,228)			Intermédiaire	20	3,065	0,287	(2,900 ; 3,229)		
Débutant	60	2,713	0,387	(2,626 ; 2,801)			Débutant	60	2,708	0,434	(2,613 ; 2,803)		
Groupe	N	Moyenne Variance Distance PE+1 S	Ecart-Type	IC à 95 %	Test -F	Valeur de p	Groupe	N	Moyenne Variance Distance PS+1 S	Ecart-Type	IC à 95 %	Test -F	Valeur de p
Expert	20	0,650	0,258	(0,453 ; 0,848)	(2 , 97) = 2,66	0,075	Expert	20	0,795	0,350	(0,562 ; 1,029)	(2 , 97) = 0,92	0,401
Intermédiaire	20	0,836	0,563	(0,639 ; 1,034)			Intermédiaire	20	0,799	0,533	(0,565 ; 1,032)		
Débutant	60	0,915	0,449	(0,801 ; 1,029)			Débutant	60	0,943	0,570	(0,808 ; 1,078)		
Groupe	N	Moyenne Distance Berge à PE S	Ecart-Type	IC à 95 %	Test -F	Valeur de p	Groupe	N	Moyenne Distance Berge à PS S	Ecart-Type	IC à 95 %	Test -F	Valeur de p
Expert	20	1,428	0,217	(1,291 ; 1,565)	(2 , 97) = 3,58	0,032	Expert	20	1,446	0,213	(1,328 ; 1,564)	(2 , 97) = 8,86	< 0,0001
Intermédiaire	20	1,615	0,378	(1,478 ; 1,753)			Intermédiaire	20	1,793	0,293	(1,675 ; 1,911)		
Débutant	60	1,639	0,310	(1,560 ; 1,719)			Débutant	60	1,667	0,273	(1,598 ; 1,735)		
Groupe	N	Moyenne Variance Distance Berge à PE S	Ecart-Type	IC à 95 %	Test -F	Valeur de p	Groupe	N	Moyenne Variance Distance Berge à PS S	Ecart-Type	IC à 95 %	Test -F	Valeur de p
Expert	20	0,310	0,127	(0,229 ; 0,390)	(2 , 97) = 3,60	0,031	Expert	20	0,287	0,084	(0,213 ; 0,359)	(2 , 97) = 0,56	0,575
Intermédiaire	20	0,463	0,208	(0,382 ; 0,543)			Intermédiaire	20	0,297	0,182	(0,224 ; 0,370)		
Débutant	60	0,379	0,186	(0,333 ; 0,425)			Débutant	60	0,326	0,176	(0,284 ; 0,368)		

Tableau 25 : Métrique de suture sans le fil en tension présentées par groupe de niveau.

La moyenne de la longueur des points sans suture est de 3,2mm ($\pm 0,321$) dans le GE, de 3,8mm ($\pm 0,611$) dans le GI et de 3,8mm ($\pm 0,601$) dans le GD. La moyenne de la distance à la berge du point de sortie sans suture est de 1,4mm ($\pm 0,213$) dans le GE, de 1,8mm ($\pm 0,293$) dans le GI et de 1,7mm ($\pm 0,273$) dans le GD. Les tests d'ANOVA mettent en évidence une différence de moyenne significative ($F(2,97) = [7,27-8,86]$, $p = [<0,0001-0,001]$) entre le GE et le GD, entre le GE et le GI mais pas de différence significative entre le GI et le GD (Figure 18A, 18E).

La moyenne de la distance entre les points d'entrée sans suture est de 2,4mm ($\pm 0,205$) dans le GE, de 3,1mm ($\pm 0,300$) dans le GI et de 2,7mm ($\pm 0,387$) dans le GD. La moyenne de la distance entre les points de sortie sans suture est de 2,4mm ($\pm 0,350$) dans le GE, de 3,1mm ($\pm 0,533$) dans le GI et de 2,7mm ($\pm 0,570$) dans le GD. Les tests d'ANOVA mettent en évidence une différence de moyenne significative ($F(2,97) = [16,58-19,03]$, $p < 0,0001$) entre le GE et le GD, entre le GE et le GI et entre le GI et le GD (Figure 18C, 18D).

La variance de la longueur moyenne des points est de 0,7 ($\pm 0,320$) dans le GE, de 0,7 ($\pm 0,284$) dans le GI et de 1,2 ($\pm 0,871$) dans le GD. Le test d'ANOVA met en évidence une différence de moyenne significative ($F(2,97) = 6,02$, $p = 0,003$) entre le GE et le GD uniquement (Figure 18B).

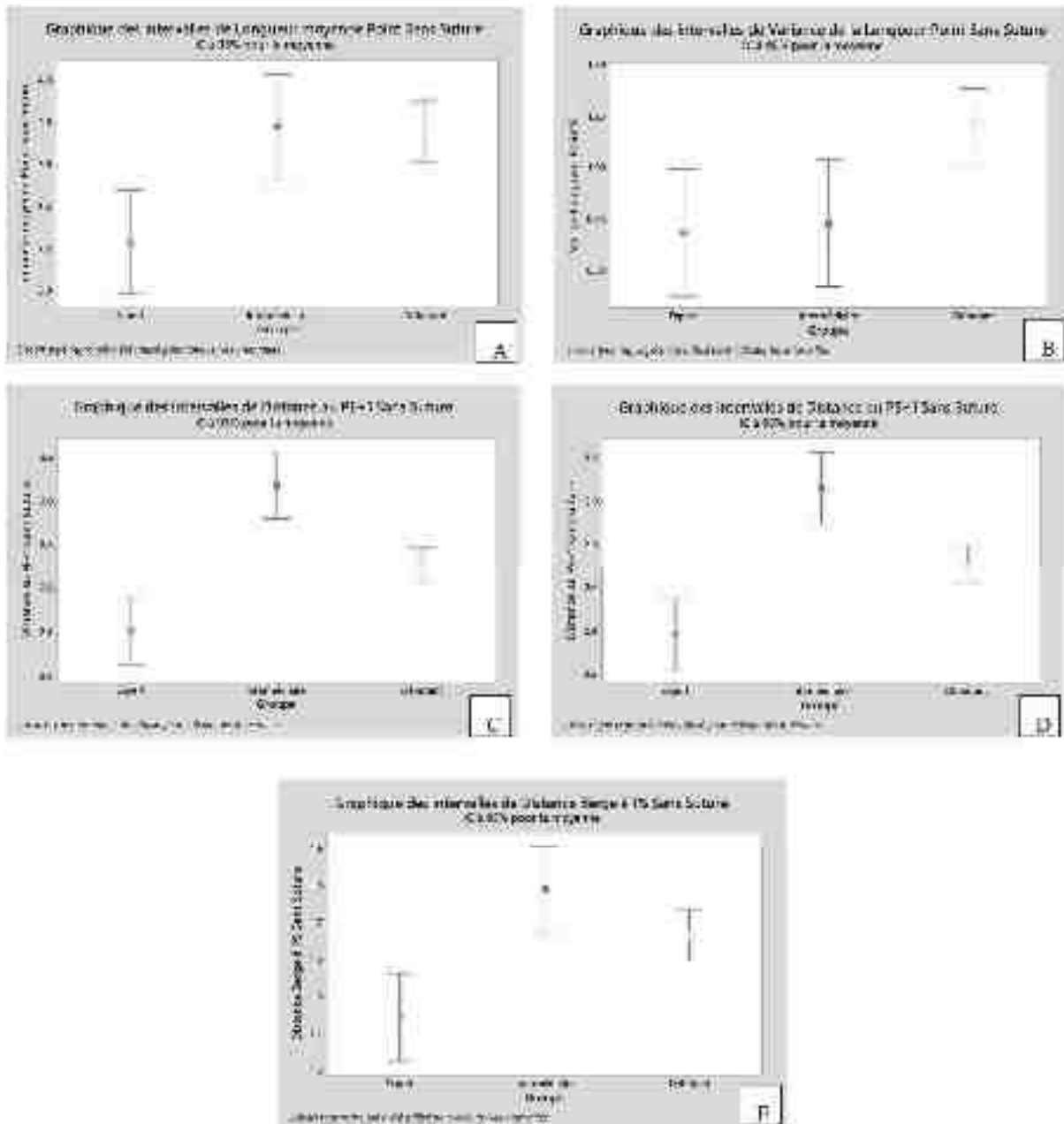


Figure 18 : Comparaison des intervalles de moyenne des métriques de suture sans fil en tension en fonction des groupes de niveau.

- A. Longueur des points sans suture en tension ; B. Variance de la longueur des points sans suture en tension ;
 C. Distance entre les points d'entrée sans suture en tension ; D. Distance entre les points de sortie sans suture en tension ; E. Distance à la berge du point de sortie sans suture en tension.

III.F.2.d. Résumé

Les participants de niveau expert effectuent donc une anastomose avec plus de points de suture que les participants de niveau débutant et intermédiaire.

Les participants de niveau intermédiaire effectuent une anastomose avec moins de points de suture que les participant de niveau expert et débutant.

Les participants de niveau débutant effectuent donc une anastomose avec plus de points multiples lors de la suture que les participants de niveau intermédiaire.

En étudiant les paramètres de la suture avec la suture en tension, il est possible de conclure que les participants de niveau expert effectuent des points plus courts et plus serrés que les participants de niveau débutant et intermédiaire. Ils effectuent aussi des points plus proches de la berge que les participants de niveau débutant. Les participants de niveau expert sont plus précis dans l'exécution de leur point en entrant et sortant leur aiguille à une distance de la berge variant moins au cours de l'exercice que pour les points réalisés par les participants de niveau expert et débutant.

En étudiant les paramètres de la suture sans la suture en tension, il est possible de conclure les points de suture des experts qui sont plus court et plus serrées que ceux des intermédiaires et débutants ne le sont pas à cause d'une tension plus importante du surjet mais bien par choix de placement des points car les points de suture sans suture en tension sont significativement moins longs et moins espacés dans le GE que dans le GI et le GD. La longueur des points sans suture en tension des participants de niveau expert et intermédiaire est plus régulière que celle des points sans suture en tension des participants de niveau débutant, ceci suggère la présence de plus de chevauchement des parois dans les anastomoses réalisées par les débutants.

III.F.3. Corrélation des métriques de suture aux scores OSATS

III.F.3.a. Corrélation aux items spécifiques de la checklist OSATS

Nous avons testé la corrélation des métriques permettant d'identifier une différence significative entre le GE et le GD ou entre le GE et le GI avec l'item « Nœuds et Suture » et l'item « Qualité du Produit Fini » de la checklist OSATS. Ces deux items sont utilisés pour décrire les aspects de la performance en lien avec les paramètres de la suture (Tableau 26).

	Noeuds et Suture moyen	Qualité Produit Fini moyen	Noeuds et Suture Eval 1	Qualité Produit Fini Eval 1
Nombre de Point / Exercice	0,027 0,793	0,217 0,030	0,002 0,983	0,213 0,033
Nombre de Points Multiples	-0,422 $p < 0,0001$	-0,418 $p < 0,0001$	-0,357 $p < 0,0001$	-0,313 0,002
Longueur Point	-0,181 0,071	-0,313 0,001	-0,123 0,224	-0,232 0,020
Distance PE+1	-0,115 0,255	-0,283 0,004	-0,081 0,422	-0,255 0,011
Distance PS+1	-0,097 0,335	-0,291 0,003	-0,068 0,501	-0,273 0,006
Distance Berge à PE	-0,249 0,012	-0,348 $p < 0,0001$	-0,146 0,147	-0,238 0,017
Variance Distance Berge à PE	-0,298 0,003	-0,407 $p < 0,0001$	-0,307 0,002	-0,368 $p < 0,0001$
Variance Distance Berge à PS	0,036 0,725	-0,099 0,328	-0,066 0,515	-0,215 0,032
Longueur Point Sans Suture	-0,283 0,004	-0,463 $p < 0,0001$	-0,245 0,014	-0,420 $p < 0,0001$
Distance PE+1 Sans Suture	-0,066 0,517	-0,274 0,006	-0,047 0,641	-0,300 0,002
Distance PS+1 Sans Suture	-0,081 0,422	-0,303 0,002	-0,052 0,607	-0,330 0,001
Distance Berge à PS Sans Suture	-0,113 0,263	-0,308 0,002	-0,119 0,237	-0,366 $p < 0,0001$
Variance Longueur Point Sans Suture	-0,563 $p < 0,0001$	-0,648 $p < 0,0001$	-0,457 $p < 0,0001$	-0,538 $p < 0,0001$

Tableau 26 : Test de corrélation pour les métriques de suture discriminantes et les items les plus directement liés à ces métriques dans la checklist OSATS.

Les métriques présentant une corrélation statistiquement significative d'intensité forte avec l'item « Qualité du Produit Fini » et « Nœuds et Suture » est la longueur moyenne du point de suture sans suture en tension.

Les métriques présentant une corrélation statistiquement significative d'intensité moyenne avec l'item « Qualité du Produit Fini » sont le nombre de point multiple par exercice, la distance à la berge du point d'entrée, la variance de la distance à la berge du point d'entrée et la longueur moyenne du point de suture sans suture en tension.

Les métriques présentant une corrélation statistiquement significative d'intensité moyenne avec l'item « Nœuds et Suture » est le nombre de point multiple par exercice.

Les métriques présentant une corrélation statistiquement significative d'intensité faible avec l'item « Qualité du Produit Fini » sont la longueur moyenne du point de suture avec suture en tension, la distance entre les points d'entrée avec suture en tension, la distance entre les points de sortie avec suture en tension, la distance entre les points d'entrée sans suture en tension, la distance entre les points de sortie sans suture en tension et la distance à la berge du point de sortie sans suture en tension.

Les métriques présentant une corrélation statistiquement significative d'intensité faible avec l'item « Nœuds et Suture » sont la distance à la berge du point d'entrée avec suture en tension, la variance de la distance à la berge du point d'entrée avec suture en tension et la longueur moyenne du point de suture sans suture en tension.

III.F.3.b. Corrélation au Score Total et au Niveau Global

Nous avons ensuite testé la corrélation des métriques discriminantes avec le Score Total et le Niveau Global (Tableau 27).

	Score Total moyen	Niveau Global moyen	Score Total Eval 1	Niveau Global Eval 1
Nombre de Point / Exercice	0,027	0,074	0,046	0,089
	0,786	0,466	0,65	0,378
Nombre de Points Multiples	-0,42	-0,411	-0,387	-0,402
	$p < 0,0001$	$p < 0,0001$	$p < 0,0001$	$p < 0,0001$
Longueur Point	-0,213	-0,248	-0,165	-0,185
	0,033	0,013	0,102	0,065
Distance PE+1	-0,13	-0,174	-0,14	-0,180
	0,197	0,084	0,166	0,073
Distance PS+1	-0,11	-0,155	-0,123	-0,163
	0,278	0,122	0,221	0,105
Distance Berge à PE	-0,241	-0,298	-0,167	-0,197
	0,016	0,003	0,098	0,049
Variance Distance Berge à PE	-0,271	-0,293	-0,292	-0,282
	0,006	0,003	0,003	0,004
Variance Distance Berge à PS	0,075	0,088	-0,033	0,006
	0,457	0,382	0,745	0,955
Longueur Point Sans Suture	-0,276	-0,321	-0,262	-0,298
	0,005	0,001	0,008	0,003
Distance PE+1 Sans Suture	-0,068	-0,122	-0,103	-0,142
	0,504	0,226	0,307	0,159
Distance PS+1 Sans Suture	-0,076	-0,132	-0,105	-0,146
	0,453	0,190	0,3	0,147
Distance Berge à PS Sans Suture	-0,115	-0,150	-0,17	-0,213
	0,253	0,137	0,09	0,033
Variance Longueur Point Sans Suture	-0,536	-0,568	-0,469	-0,485
	$p < 0,0001$	$p < 0,0001$	$p < 0,0001$	$p < 0,0001$

Tableau 27 : Test de corrélation pour les métriques de suture discriminantes et le Score Total et le Niveau Global.

Les métriques présentant une corrélation statistiquement significative d'intensité moyenne avec le Score Total et le Niveau global sont le nombre de point multiple par exercice et la variance de la longueur du point de suture sans suture en tension.

Les métriques présentant une corrélation statistiquement significative d'intensité faible avec le Score Total et le Niveau global sont la longueur moyenne du point de suture avec suture en tension, la distance à la berge du point d'entrée avec suture en tension, la variance de la distance à la berge du point d'entrée avec suture en tension et la longueur du point de suture sans suture en tension.

III.F.3.c. Corrélation avec les autres items de la checklist OSATS

Enfin, nous avons testé la corrélation des métriques discriminants avec les scores moyens des autres items de la checklist OSATS et avec les scores enregistrés par l'évaluateur 1 (Tableau 28).

	Respect des Tissus moyen	Timing et Mouvement moyen	Gestion Instruments moyen	Utilisation Aide Opérateur moyen	Fluidité Procédure moyen	Respect Tissus Eval 1	Timing et Mouvement Eval 1	Gestion Instrument Eval 1	Utilisation Aide Opérateur Eval 1	Fluidité Procédure Eval 1
Nombre de Point / Exercice	-0,067 0,508	-0,040 0,691	-0,003 0,98	0,025 0,803	0,022 0,829	-0,028 0,782	0,009 0,933	0,017 0,866	0,084 0,407	-0,013 0,895
Nombre de Points Multiples	-0,316 0,001	-0,389 <i>p < 0,0001</i>	-0,334 0,001	-0,390 <i>p < 0,0001</i>	-0,423 <i>p < 0,0001</i>	-0,354 <i>p < 0,0001</i>	-0,332 0,001	-0,335 0,001	-0,332 0,001	-0,388 <i>p < 0,0001</i>
Longueur Point	-0,121 0,232	-0,191 0,058	-0,19 0,058	-0,174 0,084	-0,195 0,051	-0,101 0,317	-0,162 0,108	-0,150 0,137	-0,121 0,229	-0,124 0,221
Distance PE+1	-0,007 0,942	-0,073 0,470	-0,109 0,281	-0,111 0,273	-0,133 0,187	-0,041 0,682	-0,113 0,265	-0,118 0,243	-0,18 0,073	-0,082 0,418
Distance PS+1	0,025 0,806	-0,052 0,609	-0,076 0,453	-0,096 0,343	-0,111 0,269	-0,021 0,837	-0,083 0,414	-0,103 0,306	-0,153 0,13	-0,063 0,532
Distance Berge à PE	-0,165 0,102	-0,203 0,042	-0,154 0,126	-0,209 0,037	-0,221 0,027	-0,125 0,214	-0,149 0,14	-0,127 0,208	-0,122 0,228	-0,120 0,234
Variance Distance Berge à PE	-0,281 0,005	-0,185 0,065	-0,187 0,062	-0,199 0,048	-0,213 0,033	-0,303 0,002	-0,233 0,02	-0,193 0,054	-0,208 0,037	-0,202 0,044
Variance Distance Berge à PS	0,021 0,833	0,133 0,188	0,108 0,284	0,129 0,201	0,13 0,197	-0,078 0,440	0,031 0,761	0,042 0,675	0,026 0,796	0,061 0,544
Longueur Point Sans Suture	-0,196 0,051	-0,213 0,034	-0,212 0,034	-0,193 0,055	-0,222 0,026	-0,205 0,040	-0,21 0,036	-0,184 0,068	-0,173 0,086	-0,176 0,080
Distance PE+1 Sans Suture	0,017 0,864	0,017 0,863	-0,013 0,894	-0,058 0,564	-0,067 0,507	-0,036 0,721	-0,05 0,622	-0,044 0,664	-0,088 0,384	-0,066 0,516
Distance PS+1 Sans Suture	0,045 0,657	0,007 0,942	-0,018 0,856	-0,073 0,470	-0,07 0,487	-0,021 0,836	-0,041 0,683	-0,045 0,655	-0,089 0,378	-0,059 0,558
Distance Berge à PS Sans Suture	-0,089 0,376	-0,053 0,603	-0,057 0,575	-0,049 0,629	-0,087 0,39	-0,155 0,123	-0,105 0,3	-0,069 0,493	-0,098 0,333	-0,134 0,183
Variance Longueur Point Sans Suture	-0,376 <i>p < 0,0001</i>	-0,453 <i>p < 0,0001</i>	-0,468 <i>p < 0,0001</i>	-0,421 <i>p < 0,0001</i>	-0,508 <i>p < 0,0001</i>	-0,368 <i>p < 0,0001</i>	-0,375 <i>p < 0,0001</i>	-0,420 <i>p < 0,0001</i>	-0,377 <i>p < 0,0001</i>	-0,373 <i>p < 0,0001</i>

Tableau 28 : Test de corrélation pour les métriques de suture discriminantes et les items restants de la checklist OSATS.

Les métriques présentant une corrélation statistiquement significative d'intensité moyenne avec les autres items de la checklist OSATS sont le nombre de point multiple par exercice et la variance de la longueur du point de suture sans suture en tension.

La variance de la distance à la berge du point d'entrée avec suture présente une corrélation statistiquement significative d'intensité faible avec les items « Utilisation de l'aide opératoire » et « Fluidité de la Procédure ».

La longueur du point de suture sans suture en tension présente une corrélation statistiquement significative d'intensité faible avec les items « Timing et Mouvement », « Gestion des Instruments » et « Fluidité de la Procédure ».

III.F.3.d. Résumé

Les métriques de suture présentées ici sont des mesures objectives reflétant la qualité de l'anastomose. L'item évaluant directement ces paramètres sur la checklist OSATS est la « Qualité du Produit Fini ». La corrélation d'intensité faible à moyenne retrouvée entre cet item n'est pas constante sur toutes les métriques de sutures permettant d'identifier des différences entre les groupes de niveau. Ceci met en évidence la subjectivité de l'évaluation du produit fini par la checklist OSATS. La faible corrélation des métriques de suture avec les autres items de la checklist OSATS n'est pas inattendue, ces items étant dédiés principalement à l'évaluation des mouvements du chirurgien.

De même, la faible corrélation des métriques de suture avec le Score Total et le Niveau Global n'est pas inattendue, le premier étant composé de la somme de six items évaluant les mouvements du participant et d'un item évaluant le produit fini et le second étant une évaluation globale de la performance.

Il faut aussi remarquer que les métriques présentant les meilleures corrélations avec les items de la checklist OSATS, le Score Total et le Niveau Global se répercutent dans la gestuelle des participant (présence de points multiples donc plus de mouvement de va et viens par exemple).

IV. DISCUSSION

IV.A. Résultats

Dans cette étude prospective, nous avons identifié différentes métriques d'évaluation de la performance d'un chirurgien dans un exercice de simulation en se basant sur 3 systèmes d'acquisition : l'utilisation d'un système de perfusion, l'analyse vidéo des mouvements du participant et l'analyse de la suture sur le produit fini. Ces métriques ont été mesurées sur des participants de différents niveaux afin d'observer leur capacité à différencier la performance de réalisation d'une anastomose.

La comparaison de ces métriques mesurées dans le groupe Expert et dans le groupe Débutant retrouve un VFA significativement inférieur dans le groupe Expert comparé au groupe Débutant, ce qui met en évidence une meilleure étanchéité de l'anastomose.

De même, les anastomoses étaient réalisées plus rapidement dans le groupe Expert avec moins de temps passé par le porte-aiguille dans le simulateur par rapport au groupe Débutant. Les mouvements étudiés étaient plus réguliers dans le groupe Expert comme mis en évidence par la variance des durées de mouvement IN et OUT, qui était significativement inférieur dans le groupe Expert que dans le groupe Débutant. Cela met en évidence une plus grande régularité de mouvement du groupe Expert, avec des durées de réalisation d'anastomose plus courte, aboutissant à une meilleure efficacité opératoire.

Les points de suture du groupe Expert étaient plus courts, lors des mesures avec ou sans la suture en tension, et plus rapprochés que ceux du groupe Débutant. Les points du groupe Expert étaient également plus réguliers comme mis en évidence par la variance de la longueur des points significativement inférieure à celle du groupe Débutant.

On note également que le groupe Expert a réalisé significativement plus de points par anastomose comparé au groupe Débutant, mais significativement moins de passages multiples de l'aiguille pour la réalisation d'un point. Cette notion de passage multiple est un des facteurs expliquant la meilleure étanchéité des anastomoses du groupe Expert.

Les métriques utilisées ici permettent la description d'une anastomose et des mouvements qui aboutissent à sa création. Cette étude démontre leur capacité à discriminer entre les groupes de

niveau. Elles sont reproductibles et corrélées de manière significative aux items de la checklist « Qualité du Produit Fini », « Timing et Mouvement », « Fluidité de la Procédure » qu'elles représentent, ainsi qu'au Score Total de la checklist OSATS, qui est le Gold-Standard actuel de l'évaluation en simulation chirurgicale vasculaire ouverte.

Les outils utilisés ici pour la collecte et l'analyse des métriques sont peu coûteux et facilement disponibles dans un centre de simulation, ils ne nécessitent pas de spécialisation pour en interpréter les résultats ce qui les rends accessibles à l'utilisation dans un programme d'évaluation par simulation quel que soit son budget.

IV.B. Résultats secondaires

IV.B.1. **Métriques représentatives de la qualité de la performance dans le groupe Intermédiaire**

Nous avons comparé les métriques mesurées entre le groupe Intermédiaire et le groupe Expert sans mettre en évidence de différence significative de la durée de l'exercice.

On retrouve cependant un nombre de mouvement du porte-aiguille significativement inférieur dans le groupe Intermédiaire par rapport au groupe Expert sans différence significative des durées de IN et de OUT du porte-aiguille ou de la variance de ses durées. Ceci traduit la régularité des mouvements des participants du groupe Intermédiaire.

La différence du nombre de mouvement du porte-aiguille entre le groupe Intermédiaire et Expert peut s'expliquer par l'étude des métriques de suture. En effet, le nombre de points par anastomose est significativement inférieur à celui du groupe Expert, avec des points plus longs et plus espacés. On retrouve aussi dans le groupe Intermédiaire une plus grande variance de la distance à la berge des points, ce qui traduit une diminution de la régularité de la suture comparé au groupe Expert.

On ne note cependant pas de différence d'étanchéité (pas de différence de VFA) entre les groupes Expert et Intermédiaire, bien que les paramètres de la suture soient différents. La simplicité de l'exercice peut expliquer l'absence de différence significative d'étanchéité malgré les différences dans les paramètres de la suture observés ici. En effet, la réalisation d'une

anastomose termino-terminale prothéto-prothétique dans un grand volume opératoire à une profondeur faible reste un exercice de base, parfaitement maîtrisé par les participants du groupe Intermédiaire et Expert. Il serait intéressant d'étudier l'évolution de ces métriques sur des exercices similaires de difficulté croissante.

IV.B.2. Métrique représentative de la qualité du produit fini et relation avec les métriques de la qualité des performances

La définition d'une anastomose en chirurgie vasculaire est de connecter deux vaisseaux sanguins de manière étanche et perméable. Dans notre étude, la métrique objective représentative de cette fonction est le VFA, qui est une mesure directe de l'étanchéité d'une anastomose. Cette mesure est cependant la plus complexe à obtenir, car cela nécessite un espace dédié à la mise en place du test de perfusion permettant la gestion des systèmes de pompe, de valve et de stockage des solutions de glycérol, même si le montage que nous avons utilisé dans cette étude était plus maniable et plus facilement reproductible que les autres montages décrits dans la littérature.(45)

Les autres métriques étudiées ici sont donc importantes dans leurs capacités à décrire et évaluer la réalisation de l'anastomose mais aussi dans leur capacité à représenter la qualité du produit fini afin de pouvoir à terme être utilisées de manière indépendante. Elles sont également plus simples à obtenir, et leur interprétation peut être faite à distance de l'exercice, ce qui augmente leur praticabilité en routine.

IV.B.3. Étude de la variabilité de l'évaluation par checklist OSATS

Notre étude nous a permis d'objectiver le niveau de fiabilité des techniques d'évaluation par la checklist OSATS à travers une démarche standardisée. En effet, les exercices ont été enregistrés sous forme de vidéos anonymisées, puis soumis à plusieurs évaluateurs en aveugle du participant et de leurs co-évaluateurs pour minimiser les biais d'évaluation. La cohérence intra-évaluateur observée était forte, avec une corrélation forte entre les items de la checklist et le niveau global. Nous avons cependant observé une variabilité inter-évaluateur importante avec

des coefficients de corrélation inter-évaluateurs pour les items de la checklist, le score total et le niveau global, montrant un niveau de corrélation moyen restant statistiquement significatif.

Ceci met en évidence la subjectivité inhérente de ce type d'évaluation que nous avons déjà mis en évidence lors de notre présentation d'une métrique de qualité de la suture pour l'exercice Clockface avec ici aussi une variabilité inter-opérateur importante pour la notation OSATS.(46)

Ici, les coefficients de corrélation pour les métriques comparées à la checklist OSATS sont plus élevés pour les résultats de l'évaluateur 1 que ceux obtenu avec la moyenne des scores des trois évaluateurs. La variabilité inter-évaluateur explique cette différence et limite la significativité des tests de corrélation des nouvelles métriques présentées ici au Gold-Standard.

La variabilité des résultats obtenus par la checklist OSATS nous fait questionner l'utilisation de cet outil en pratique courante.

IV.C. Validité externe de nos résultats

Dans la littérature, les scores OSATS sont utilisés sans évaluation systématique de leur représentativité par des tests de corrélation inter-évaluateurs ou sans limitation systématique des biais d'évaluation par anonymisation des participants évalués.(47) Notre étude souligne le besoin de reconsidérer les OSATS et leur utilisation en pratique en systématisant la présentation des données de corrélation inter-évaluateur pour évaluer les résultats des études de manière fiable.

De toutes les catégories de métriques que nous avons utilisées pour caractériser les anastomoses, les métriques de perfusion sont les plus utilisées et décrites dans la littérature. Elles sont décrites comme mesure objective de la qualité des produits fini et la complexité des montages de perfusion et des mesures peut varier.(42,45)

Pour les métriques de mouvement chirurgical, la littérature rapporte une description du mouvement dans le cadre d'étude cinétique avec décomposition des forces appliquées sur les tissus et de la vitesse des mouvements de main des chirurgiens.(48,49) Ces études sont réalisées sur de petits effectifs avec utilisation de capteurs électromagnétiques à usage unique dont les données sont interprétables par des experts de science cinétique qui ensuite traduisent les données en valeurs simplifiées. Les résultats de ces études sont prometteurs mais l'obtention

de ces métriques est couteuse et leur interprétation complexe ce qui les rend difficilement utilisables en pratique courante. De plus, les métriques recueillies sont extrêmement spécifiques d'un mouvement ou d'un exercice donc difficilement transposable à d'autres exercices. Les métriques de mouvement que nous présentons ici sont au contraire faciles à recueillir et facilement adaptables à une multitude d'exercice.

La formation en chirurgie a de tout temps inclus une formation à la réalisation d'une suture selon des grands principes : réalisation de points réguliers sans exercer trop de tension sur les tissus, pas d'écartement des points trop important et une distance à la berge qui doit être la même entre le point d'entrée et de sortie d'un point de suture.(50) Ces principes sont décrit et enseignés, cependant la littérature sur l'analyse des sutures reste très limitée et se concentre presque exclusivement sur l'évaluation de la fonctionnalité du produit fini. Nous proposons donc ici une technique standardisée permettant d'obtenir la description des sutures réalisées par des critères objectifs de qualité.

On remarque aussi que les scores de stress et de fatigue déclarés dans notre étude sont plus élevés dans le groupe Expert que dans les groupes Intermédiaire et Débutant ce qui pose la question de l'influence de ces facteurs sur la performance des participants. Pour une évaluation plus poussée de l'effet du stress, il serait intéressant d'utiliser des paramètres d'évaluation du stress plus élaborés comme le questionnaire NASA-TLX ou la variabilité de la fréquence cardiaque qui sont décrit comme des outils les plus fortement corrélés au niveau de stress dans la revue de la littérature réalisée par Sidhoum et coll.(51)

IV.D. Limites

Notre étude a pu recruter des participants débutants et intermédiaires de spécialités chirurgicales différentes, cependant les experts étaient tous chirurgiens vasculaires. Il serait intéressant de répéter les mesures présentées ici en incluant des participant de spécialités chirurgicales différentes dans les niveaux intermédiaires et expert, pour observer l'effet d'une formation chirurgicale différente sur les métriques de performance.

Il faut noter que notre étude est mono-centrique ce qui limite sa validité externe. De plus, le nombre de participant reste faible (n=20) pour une étude de simulation avec trois groupes de niveau distinct mais la répétition des épreuves permet le contrôle de ce biais d'échantillonnage.

Enfin, toutes les métriques présentées ici ne pourront pas être étudiées pour la transposition au bloc opératoire. En effet, les métriques de perfusion et de suture ne pourront pas être des facteurs d'évaluation pour la transposition des connaissances au bloc opératoire car ces dernières ne seront pas exploitables au cours d'une intervention chirurgicale.

IV.E. Perspectives

Les perspectives ouvertes par cette étude nous incitent à utiliser les métriques objectives dans des études incluant plus de participants avec un schéma d'étude permettant de suivre l'évolution des métriques après entraînement des étudiants. Nous avons étudié ici les métriques dans un exercice d'anastomose termino-terminale mais elles sont adaptables à d'autres exercices de simulation chirurgicale vasculaire comme l'anastomose termino-latérale ou la suture de patch vasculaire.

L'acquisition de métriques d'évaluation doit être prise en compte dans la conception des simulateurs. Par exemple, le simulateur utilisé ici, développé par le GEPROMED, permet de définir différents niveaux de difficulté de l'exercice en faisant varier le volume opératoire disponible. Il est aussi possible d'y ajouter des instruments de mesure pour recueillir des métriques supplémentaires, par exemple un dynamomètre permettant d'étudier les forces appliquées aux tissus lors de l'exercice. En effet, ces données ont déjà été étudiées en simulation dans de nombreux cas avec succès, mais avec des systèmes couteux et complexes.

Le développement de méthodes d'évaluation objective pourra permettre dans le futur l'évaluation régulière du progrès des étudiants, et à terme, de définir des niveaux d'accréditation objectifs. Avant de pouvoir utiliser les métriques étudiées ici dans des procédures plus complexes, il est nécessaire d'obtenir des données sur le comportement de ces métriques avec l'entraînement.

Grace à ce travail nous pourrions déterminer les étapes d'apprentissages indispensables pour amener le plus rapidement possible un débutant au niveau de l'expert. La toute première étape serait le travail sur la régularité des points sur une anastomose.

V. CONCLUSION

Dans cette étude, nous avons proposé un nouvel outil d'évaluation pour un exercice d'anastomose termino-terminale en simulation chirurgicale ouverte.

Devant la majoration des restrictions horaires pour les internes, la disponibilité limitée des experts et l'utilisation consommatrice de temps des checklists OSATS, nous avons développé une technique semi-automatique pour l'analyse de la suture. Cette méthode combinée avec d'autres métriques de recueil simple présente une alternative intéressante à l'évaluation par OSATS checklist qui ont fait preuve de leur subjectivité.

La faisabilité en routine de cette évaluation objective est meilleure que celle des checklists OSATS mais nécessite tout de même une validation plus extensive. De plus, elle doit être optimisée par l'intégration dans un programme de simulation structuré utilisant toutes les méthodes pédagogiques à disposition de notre centre par le biais de la plateforme GEPROMED et de la Faculté de Médecine de Strasbourg.

Par la suite, ce type d'évaluation pourrait être adaptée aux différents exercices de simulation de chirurgie vasculaire ouverte.

VII et approuvée:
Strasbourg le 28 JUIN 2023
Le Doyen de la Faculté de
Médecine, Médecine et Sciences de la Santé
Professeur Jean SIBILA

Strasbourg le 27 JUIN 2023

Le président du jury de Thèse:

Professeur Anne LEIAY

Professeur A. LEIAY

Hôpital de Strasbourg - Hôpital de Hautepierre
Service de Chirurgie Digestive et Transplantation Hépatobiliaire
11, rue de l'Espérance - 67000 Strasbourg
Téléphone : 03 88 11 20 00
Site Internet : www.hopital-strasbourg.fr

VI. BIBLIOGRAPHIE

1. Polavarapu HV, Kulaylat AN, Sun S, Hamed OH. 100 years of surgical education: the past, present, and future. *Bull Am Coll Surg*. 2013 Jul;98(7):22-7.
2. Debas HT, American Surgical Association Blue Ribbon Committee Report on Surgical Education: 2004. *Ann Surg*. 2005 Jan;241(1):1-8.
3. Pickersgill T. The European working time directive for doctors in training. *BMJ* 2001; 323(7324): 1266.
4. Schanzer A, Steppacher R, Eslami M, Arous E, Messina L, Belkin M. Vascular surgery training trends from 2001-2007: A substantial increase in total procedure volume is driven by escalating endovascular procedure volume and stable open procedure volume. *J Vasc Surg* 2009; 49(5): 1339–44.
5. Lamont PM, Scott DJ. The impact of shortened training times on the discipline of vascular surgery in the United Kingdom. *Am J Surg*. 2005 ;190:269e272
6. Goeters, K.-M., Maschke, P., and Eißfeldt, H. (2004). “Ability requirements in core aviation professions: job analysis of airline pilots and air traffic controllers,” in *Aviation Psychology: Practice and Research*, ed K.-M. Goeters (New York, NY: Ashgate Publishing), 99–119
7. Fuller FW. The aviation paradigm and surgical education. *J Am Coll Surg*. 2006 Jan;202(1):200; author reply 200.
8. Boyle JR, Ghuyssen A, d’Orio V, Vega de Ceniga M, Chakfé N. Time to Embrace Simulation in Vascular Surgical Training: Little Things Matter. *Eur J Vasc Endovasc Surg*. 2019;58(2):161–2.
9. Nguyen VT, Losee JE. Time- versus Competency-Based Residency Training. *Plast Reconstr Surg*. 2016 Aug;138(2):527-531.
10. Michelson JD, Manning L. Competency assessment in simulation-based procedural education. *Am J Surg*. 2008 Oct;196(4):609-15.
11. Datta V, Bann S, Beard J, Mandalia M, Darzi A. Comparison of bench test evaluations of surgical skill with live operating performance assessments. *J Am Coll Surg*. 2004 Oct;199(4):603-6.
12. Sidhu RS, Park J, Brydges R, MacRae HM, Dubrowski A. Laboratory-based vascular anastomosis training: a randomized controlled trial evaluating the effects of bench model fidelity and level of training on skill acquisition. *J Vasc Surg*. 2007 Feb;45(2):343-9.

13. Duschek N, Assadian A, Lamont PM, Klemm K, Schmidli J, Mendel H, Eckstein HH. Simulator training on pulsatile vascular models significantly improves surgical skills and the quality of carotid patch plasty. *J Vasc Surg.* 2013 Apr;57(4):1148-54.
14. Bath J, Lawrence P, Chandra A, O'Connell J, Uijtdehaage S, Jimenez JC, Davis G, Hiatt J. Standardization is superior to traditional methods of teaching open vascular simulation. *J Vasc Surg.* 2011 Jan;53(1):229-234, 235.e1-2; discussion 234-5.
15. Robinson WP, Baril DT, Taha O, et al. Simulation-based training to teach open abdominal aortic aneurysm repair to surgical residents requires dedicated faculty instruction. *J Vasc Surg.* 2013;58:247e253.e1-2
16. Malas T, Al-Atassi T, Brandys T, Naik V, Lapierre H, Lam BK. Impact of visualization on simulation training for vascular anastomosis. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2018 Apr;155(4):1686-1693.e5.
17. Ramjeeawon A, Sharrock AE, Morbi A, Martin G, Riga C, Bicknell C. Using Fully-Immersive Simulation Training with Structured Debrief to Improve Nontechnical Skills in Emergency Endovascular Surgery. *J Surg Educ.* 2020 Sep-Oct;77(5):1300-1311
18. Price J, Naik V, Boodhwani M, Brandys T, Hendry P, Lam BK. A randomized evaluation of simulation training on performance of vascular anastomosis on a high-fidelity in vivo model: the role of deliberate practice. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2011 Sep;142(3):496-503
19. Tavlasoglu M, Durukan AB, Gurbuz HA, Jahollari A, Guler A. Skill acquisition process in vascular anastomosis procedures: a simulation-based study. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2015 May;47(5):812-8.
20. Yiasemidou M, Gkaragkani E, Glassman D, Biyani CS. Cadaveric simulation: a review of reviews. *Ir J Med Sci.* 2018 Aug;187(3):827-833.
21. Gilbody J, Prasthofer AW, Ho K, Costa ML. The use and effectiveness of cadaveric workshops in higher surgical training: a systematic review. *Ann R Coll Surg Engl.* 2011 Jul;93(5):347-52.
22. Garrett HE Jr. A human cadaveric circulation model. *J Vasc Surg.* 2001 May;33(5):1128-30.
23. Carey JN, Minneti M, Leland HA, Demetriades D, Talving P. Perfused fresh cadavers: method for application to surgical simulation. *Am J Surg.* 2015 Jul;210(1):179-87.
24. Bath J, Lawrence P, Chandra A, O'Connell J, Uijtdehaage S, Jimenez JC, Davis G, Hiatt J. Standardization is superior to traditional methods of teaching open vascular simulation. *J Vasc Surg.* 2011 Jan;53(1):229-234, 235.e1-2; discussion 234-5.

25. Robinson WP, Baril DT, Taha O, et al. Simulation-based training to teach open abdominal aortic aneurysm repair to surgical residents requires dedicated faculty instruction. *J Vasc Surg.* 2013;58:247e253.e1-2
26. Martin JA, Regehr G, Reznick R, MacRae H, Murnaghan J, Hutchison C, Brown M. Objective structured assessment of technical skill (OSATS) for surgical residents. *Br J Surg.* 1997 Feb;84(2):273-8.
27. Faulkner H, Regehr G, Martin J, Reznick R. Validation of an objective structured assessment of technical skill for surgical residents. *Acad Med.* 1996 Dec;71(12):1363-5.
28. Lee JT, Qiu M, Teshome M, Raghavan SS, Tedesco MM, Dalman RL. The Utility of Endovascular Simulation to Improve Technical Performance and Stimulate Continued Interest of Preclinical Medical Students in Vascular Surgery. *J Surg Educ* 2009 Nov 1;66(6):367–73.
29. Wooster M, Doyle A, Hislop S, Glocker R, Armstrong P, Singh M, et al. REHEARSAL Using Patient-Specific Simulation to Improve Endovascular Efficiency. *Vasc Endovascular Surg.* 2018 Apr;52(3):169–72.
30. Coates PJB, Zealley IA, Chakraverty S. Endovascular Simulator Is of Benefit in the Acquisition of Basic Skills by Novice Operators. *J Vasc Interv Radiol.* 2010 Jan 1;21(1):130–4.
31. Fargen KM, Arthur AS, Bendok BR, Levy EI, Ringer A, Siddiqui AH, et al. Experience With a Simulator-Based Angiography Course for Neurosurgical Residents: Beyond a Pilot Program. *Neurosurgery.* 2013 Oct;73:S46.
32. Patel AD, Gallagher AG, Nicholson WJ, Cates CU. Learning curves and reliability measures for virtual reality simulation in the performance assessment of carotid angiography. *J Am Coll Cardiol.* 2006 May 2;47(9):1796-802.
33. Brenner M, Hoehn M, Pasley J, Dubose J, Stein D, Scalea T. Basic endovascular skills for trauma course. *J Trauma Acute Care Surg* 2014;77:286e91.
34. Chaer RA, Derubertis BG, Lin SC, Bush HL, Karwowski JK, Birk D, et al. Simulation improves resident performance in catheter-based intervention: results of a randomized, controlled study. *Ann Surg.* 2006 Sep;244(3):343–52.
35. Duran C, Estrada S, O'Malley M, Sheahan MG, Shames ML, Lee JT, et al. The model for Fundamentals of Endovascular Surgery (FEVS) successfully defines the competent endovascular surgeon. *J Vasc Surg.* 2015 Dec;62(6):1660-1666.e3.

36. Bech B, Lönn L, Falkenberg M, Bartholdy NJ, Räder SB, Schroeder TV, et al. Construct Validity and Reliability of Structured Assessment of endoVascular Expertise in a Simulated Setting. *Eur J Vasc Endovasc Surg.* 2011 Oct 1;42(4):539–48.
37. Hsu JH, Younan D, Pandalai S, Gillespie BT, Jain RA, Schippert DW, Narins CR, Khanna A, Surowiec SM, Davies MG, Shortell CK, Rhodes JM, Waldman DL, Green RM, Illig KA. Use of computer simulation for determining endovascular skill levels in a carotid stenting model. *J Vasc Surg.* 2004 Dec;40(6):1118-25.
38. Strøm M, Lönn L, Konge L, et al. Assessment of EVAR competence: validity of a novel rating scale (EVARATE) in a simulated setting. *Eur J Vasc Endovasc Surg.* 2018;56:137e144.
39. Rolls AE, Riga CV, Bicknell CD, Stoyanov DV, Shah CV, Van Herzeele I, Hamady M, Cheshire NJ. A pilot study of video-motion analysis in endovascular surgery: development of real-time
40. Duran C, Estrada S, O'Malley M, Lumsden AB, Bismuth J. Kinematics effectively delineate accomplished users of endovascular robotics with a physical training model. *J Vasc Surg.* 2015 Feb;61(2):535-41
41. Siyar S, Azarnoush H, Rashidi S, Winkler-Schwartz A, Bissonnette V, Ponnudurai N, Del Maestro RF. Machine learning distinguishes neurosurgical skill levels in a virtual reality tumor resection task. *Med Biol Eng Comput.* 2020 Jun;58(6):1357-1367.
42. Jensen AR, Milner R, Achildi O, Gaughan J, Wilhite DB, Grewal H. Effective instruction of vascular anastomosis in the surgical skills laboratory. *Am J Surg* 2008; 195(2): 189–94
43. Watson RA. Use of a machine learning algorithm to classify expertise: analysis of hand motion patterns during a simulated surgical task. *Acad Med.* 2014 Aug;89(8):1163-7.
44. Volk A, Kähler CJ. Density model for aqueous glycerol solutions. *Exp Fluids.* 2018 Apr 3;59(5):75
45. Tavlasoglu M, Durukan AB, Gurbuz HA, Jahollari A, Guler A. Skill acquisition process in vascular anastomosis procedures: a simulation-based study. *Eur J Cardio Thor Surg.* 2015 May 1;47(5):812–8.
46. Treil L, Neumann N, Chanes N, Lejay A, Bourcier T, Bismuth J, et al. Objective Evaluation of Clock Face Suture Using the Objective Structured Assessment of Technical Skill (OSATS) Checklist. *EJVES Vasc Forum.* 2022;57:5–11.
47. Reznick R, Regehr G, MacRae H, Martin J, McCulloch W. Testing technical skill via an innovative “bench station” examination. *Am J Surg.* 1997 Mar 1;173(3):226–30.

48. Datta V, Mandalia M, Mackay S, Chang A, Cheshire N, Darzi A. Relationship between skill and outcome in the laboratory-based model. *Surgery*. 2002 Mar;131(3):318–23.
49. Datta V, Mackay S, Mandalia M, Darzi A. The use of electromagnetic motion tracking analysis to objectively measure open surgical skill in the laboratory-based model. *1 No competing interests declared. J Am Coll Surg*. 2001 Nov;193(5):479–85.
50. Schiappa J, Van Hee R. From Ants to Staples: History and Ideas Concerning Suturing Techniques. *Acta Chirurgica Belgica*. 2012 Sep 1;112:395–402.
51. Sidhoum L, Dormegny L, Neumann N, Rouby AF, Sauer A, Gaucher D, et al. [Assessment method of cognitive load and stress inducer factors of surgeons and anesthetists in the operating room]. *J Fr Ophtalmol*. 2023 May;46(5):536–51.

ATTESTATION SUR L'HONNEUR**DÉCLARATION SUR
L'HONNEUR**

Faculté de médecine
maternité et sciences de la santé
Université de Strasbourg

Document avec signature originale devant être joint :

- à votre mémoire de D.E.S.,
- à votre dossier de demande de soutenance de thèse

Nom : TREIL Prénom : LUCILLE

Ayant été informé(e) qu'en m'appropriant tout ou partie d'une œuvre pour l'intégrer dans mon propre mémoire de spécialité ou dans mon mémoire de thèse de docteur en médecine, je me rendrais coupable d'un délit de contrefaçon au sens de l'article L395-1 et suivants du code de la propriété intellectuelle et que ce délit était constitué d'une fraude pouvant donner lieu à des poursuites pénales conformément à la loi du 23 décembre 1901 dite de répression des fraudes dans les examens et concours publics.

Ayant été avisé(e) que le président de l'université sera informé de cette tentative de fraude ou de plagiat, afin qu'il saisisse la juridiction disciplinaire compétente,

Ayant été informé(e) qu'en cas de plagiat, la soutenance du mémoire de spécialité et/ou de la thèse de médecine sera alors automatiquement annulée, dans l'attente de la décision que prendra la juridiction disciplinaire de l'université.

J'atteste sur l'honneur

de n'avoir reproduit dans mes documents tout ou partie d'œuvres(s) déjà existante(s), à l'exception de quelques brèves citations dans le texte, mises entre guillemets et référencées dans la bibliographie de mon mémoire.

A écrire à la main : « J'atteste sur l'honneur avoir connaissance des suites disciplinaires ou pénales que j'encours en cas de déclaration erronée ou incomplète ».

*J'atteste sur l'honneur avoir pris connaissance des suites disciplinaires
ou pénales que j'encours en cas de déclaration erronée ou incomplète.*

Signature originale : 

À STRASBOURG le 21.10.2023

Photocopie de cette déclaration devant être annexée en dernière page de votre mémoire de D.E.S. ou de Thèse.

RÉSUMÉ :

Objectifs : La simulation en chirurgie vasculaire ouverte est nécessaire dans la formation chirurgicale, particulièrement suite aux restrictions horaires du travail des internes et aux changements éthiques des dernières années. L'objectif de ce travail a été d'étudier et de qualifier des métriques objectives pour caractériser la qualité des anastomoses vasculaires.

Matériel et Méthodes : Vingt participants ont été recrutés au CHU de Strasbourg entre mai et juillet 2023. Ils ont réalisé 5 anastomoses termino-terminales prothétiques dans un simulateur de chirurgie aortique ouverte. Chaque exercice était enregistré en vidéo et anonymisé pour être évalués par 3 évaluateurs indépendants en suivant une checklist OSATS. L'étanchéité des anastomoses était évaluée par des tests de perfusion. L'analyse des images de l'anastomose était réalisée pour étudier les paramètres de la suture. Toutes ces évaluations de la performance et du produit fini ont permis le recueil de métriques de perfusion, de mouvement et de suture. Les métriques recueillies ont été comparées par groupe de niveau par test d'ANOVA et leur corrélation au Gold-Standard de l'évaluation est testé par l'utilisation d'un test de régression linéaire de Pearson.

Résultats : Les participants étaient répartis en 3 groupes de niveau (expert, intermédiaire et débutant). Le groupe expert (n=4) présentait des différences significatives avec le groupe intermédiaire (n=4) ou le groupe débutant (n=12) pour des métriques de perfusion (VFA), de mouvement (Durée de IN du porte-aiguille, ...) et de suture (Nombre de point, Distance entre les points, ...). Ces métriques sont corrélées de manière significative aux items pour chacun des types de métrique dédiés de la checklist OSATS ainsi qu'à son Score Total.

Conclusion : Les métriques identifiées dans cette étude ont démontré une validité interne pour discriminer débutants et expert et sont corrélées au checklist OSATS. Ces métriques ouvrent la voie sur leur utilisation dans la mise en place de schémas pédagogiques pour développer leur apprentissage en simulation chirurgicale vasculaire ouverte.

Rubrique de classement : CHIRURGIE VASCULAIRE

Mots-clés : Simulation, Métrique, Evaluation

Président : Professeure Anne LEJAY

Asseseurs :

Professeur Nabil CHAKFE

Professeur Ambroise DUPREY

Docteure Salomé KUNTZ

Adresse de l'auteur :

28, ROUTE DU POLYGONE
67100 STRASBOURG
FRANCE