NANTES UNIVERSITÉ

_____

FACULTÉ DE MÉDECINE

_____

Année : 2022 N°

THÈSE

Pour le

DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN MÉDECINE

D.E.S de CHIRURGIE ORTHOPEDIQUE ET TRAUMATOLOGIQUE

Par

Monsieur PECHEUR Jimmy

Né le 01 Octobre 1994 à St Nazaire

_____

Présentée et soutenue publiquement le 15 Septembre 2022 à Nantes

_____

Évaluation de la transposition des compétences chirurgicales en ostéosynthèse après apprentissage par simulation sur os synthétique

_____

Président : Monsieur le Professeur Christophe NICH

Directeur de thèse : Monsieur le Docteur Vincent CRENN

« L'art est long, la vie est courte »
Hippocrate

SERMENT D'HIPPOCRATE

Au moment d'être admis à exercer la médecine, je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité.

Mon premier souci sera de rétablir, de préserver ou de promouvoir la santé dans tous ses éléments, physiques et mentaux, individuels et sociaux.

Je respecterai toutes les personnes, leur autonomie et leur volonté, sans aucune discrimination selon leur état ou leurs convictions. J'interviendrai pour les protéger si elles sont affaiblies, vulnérables ou menacées dans leur intégrité ou leur dignité. Même sous la contrainte, je ne ferai pas usage de mes connaissances contre les lois de l'humanité.

J'informerai les patients des décisions envisagées, de leurs raisons et de leurs conséquences.

Je ne tromperai jamais leur confiance et n'exploiterai pas le pouvoir hérité des circonstances pour forcer les consciences.

Je donnerai mes soins à l'indigent et à quiconque me les demandera. Je ne me laisserai pas influencer par la soif du gain ou la recherche de la gloire.

Admis dans l'intimité des personnes, je tairai les secrets qui me seront confiés. Reçu à l'intérieur des maisons, je respecterai les secrets des foyers et ma conduite ne servira pas à corrompre les mœurs.

Je ferai tout pour soulager les souffrances. Je ne prolongerai pas abusivement les agonies. Je ne provoquerai jamais la mort délibérément.

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

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

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

REMERCIEMENTS

Aux membres du jury

Au **Professeur Christophe NICH**, Président du jury. Vous me faites l'honneur d'évaluer ce travail et de présider le jury. Je vous remercie pour cela et pour l'ensemble de mon cursus en Chirurgie Orthopédique à Nantes.

Au **Docteur Vincent CRENN**, Directeur de thèse. Je te remercie pour tes nombreux conseils et pour l'encadrement de ce travail. Tu as su me recadrer, me motiver dans les moments nécessaires, parfois même me remettre dans le droit chemin. Ce travail fut long mais j'en suis d'autant plus fier et je te le dois. Ta rigueur scientifique n'est plus à démontrer et j'espère en avoir été à la hauteur. Que ce travail soit le reflet tant de mon respect que de ma reconnaissance.

Au **Professeur Hervé THOMAZEAU**, membre du jury et ancien président du Collège national de Chirurgie Orthopédique et Traumatologue. Vous me faites l'honneur d'évaluer ce travail autour de la pédagogie en chirurgie, domaine pour lequel vous m'avez transmis votre enthousiasme. Je vous remercie chaleureusement pour m'avoir accompagné et conseillé dans ce projet.

Au **Professeur Jérôme RIGAUD**, membre du jury. Merci pour votre bienveillance, vos précieux conseils et vos encouragements. Vous avez su me transmettre votre dynamisme au début de ce travail lors d'une entrevue, et je vous en suis reconnaissant. Je vous remercie d'avoir accepté de juger ce travail autour de la simulation, domaine omniprésent à l'École de Chirurgie dont vous êtes le directeur.

Au **Docteur DECANTE Cyrille**, membre du jury. Je te remercie d'avoir accepté de juger mon travail et de m'avoir accompagné dès mes premiers jours d'internat, et même de ma première garde. Ta sympathie, tes qualités chirurgicales et ton attrait pour l'enseignement font de toi une source d'inspiration pour ma pratique future. Que ce travail signe ici l'expression de ma sincère gratitude.

Au **Docteur RONY Louis**, membre du jury. Je te remercie d'avoir accepté de juger, ainsi que de participer à mon travail. Tes conseils ont été précieux et ton engouement motivant. Ton engagement pour l'enseignement ainsi que pour l'associatif avec HUGOrtho et la SOO, font de toi une source inspirante pour mes prochaines années.

A mes chefs et mentors,

Pour commencer, au service de chirurgie orthopédique et traumatologique du CHU de Nantes ; Au Dr Denis WAAST, chef de service, merci pour votre confiance et votre soutien tout au long de mon cursus. Aux Dr Sophie TOUCHAIS, qui m'a fait découvrir la chirurgie de la main, Dr Kevin BRULEFERT, Dr Guillaume GADBLED, Dr Marc CAPPELLI, Dr Guy PIETU. Merci de m'avoir transmis vos surspécialités respectives et votre expérience, toujours dans un esprit de compagnonnage agréable.

Aux Dr Yoann VARENNE et Dr Yonis QUINETTE. Vous avez tous les deux participé à mon travail de thèse et je vous en remercie énormément ! Travailler avec vous a toujours été agréable, et plaisanter avec vous l'était tout autant.

Aux anciens chefs, Dr Mike PERSIGANT, Dr Cécile TOANEN, Dr Marie LETEVE, Dr Karim MESSEDI.

Aux Docteurs du bureau d'à côté, Dr Christophe CARLIER et Dr Benjamin CHAPAT. Votre départ du CHU me peine énormément ! Frapper à votre porte a été un pur bonheur. Taquins mais toujours bienveillants, vous allez me manquer. Ainsi qu'aux Dr Arthur RENAULT, Dr François LATASTE, Dr François Xavier LAMBERT, Dr Julien MALLET. Votre statut d'ancien co-interne, nouveau chef, a rendu les relations vraiment agréables. Vous m'avez été indispensables tant lorsque vous étiez vieux internes que lorsque vous êtes devenus chefs.

Les qualités chirurgicales et humaines de chacun d'entre vous, l'ambiance de travail, font la force du service Nantais. Soyez tous assurés de mon profond respect et de ma reconnaissance la plus totale.

À l'Institut de la main : Dr Philippe BELLEMÈRE, Dr Etienne GAISNE, Dr Thierry LOUBERSAC, Dr Ludovic ARDOUIN, Dr Marc LEROY, Dr Alexandre FOURNIER, Dr Yves KERJEAN, Dr Yves BOUJU, Dr Flore Anne LECOQ, Dr Victor LESTIENNE, Dr Youssouf TANWIN, Dr Florent METAIRIE, Dr Marie POUEDRAS, Dr Prune ALIGAND PERRIN. Je me reconnais comme chanceux d'avoir pu bénéficier de votre expérience et de votre enseignement. C'est grâce à vous que mon orientation professionnelle s'est confirmée, et même précisée, autour de la chirurgie de la main. Veuillez recevoir à travers ces quelques lignes le témoignage de mon plus profond respect et mes remerciements les plus sincères.

Au service de chirurgie orthopédique du CH de St Nazaire : Dr Laurence BIGOTTE, Dr Luc SOUBIGOU, Dr Xavier HEMERY, Dr Florent JAMARD, Dr Vincent GIRARD, Dr Jeremy SIMON. Merci pour ces bons moments et l'enseignement que vous m'avez transmis.

Mes premiers blocs en autonomie ont eu lieu chez vous, témoignant votre confiance, et je vous en suis reconnaissant.

Au service de chirurgie infantile, notamment d'orthopédie pédiatrique et aux Pr Antoine HAMEL, Dr Emmanuelle MAYRARGUE, Dr Antoine CHALOPIN, Dr Cyrille DECANTE, Dr Sophie GUILLARD. Lors de mon premier semestre, vous m'avez enseigné la rigueur, indispensable pour ce métier.

A ma deuxième ville de cœur qu'est Bordeaux : aux Pr Philippe PELISSIER, Pr Vincent CASOLI et Dr Hussein CHOUGHRI pour avoir accepté de me recevoir dans leur service. Aux Dr Marie-Laure ABI CHAHLA, Dr Anaïs DELGOVE, Dr Alexandra ERBLAND, Dr Amirouche DAHMAM, Dr Pascal LUCIANI, Dr Chloé TIERNY, Dr Raphael BLAQUER. Merci pour ce semestre chaleureux et riche en apprentissage dans une ambiance de travail si bienveillante.

À ma famille,

Mon frère Steven, mes parents, Franck et Martine PECHEUR sans qui, tout cela n'aurait pas été possible. Merci de votre soutien dans mes études. C'est votre présence dans ma vie qui me pousse à me dépasser et à devenir chirurgien alors que rien ne m'y prédisposait. Vous avez dû subir, durant ces années, mon stress et mes humeurs. Votre fierté est mon moteur de vie. Je leur dois tout et mes remerciements infinis leur reviennent en premier lieu. Je vous aime !

À mes amis,

De longue date, Gael, Louis et Marin. Vous retrouver est un bonheur et bien que trop rare, ces moments sont uniques, importants et intenses pour moi. Je vous aime !

A mes amis, Karl, Lisa, Louis-Pacôme, Alicia, Adeline, Nicolas, Jérôme, Laure, Ophélie et Willy. Un cursus de médecine partagé. Tant de moments, de voyages, de vacances, d'émotions, de souvenirs. Vous m'avez construit, et je suis devenu celui que je suis grâce à vous. Je vous aime !

A ma petite amie, Élisa, pour sa présence, son aide, son soutien et son amour. Tu m'as énormément aidé pour cette thèse et m'as beaucoup soutenu.

Et tous mes autres amis et co-internes, qui ont contribué à faire ce que je suis devenu, de près comme de loin : Johanna, Victoria, Basile, Tanguy, Arnaud, Émilie, Marion, Ines, Mathilde, Annie, Marie, Julie, Chloé, Marie-Sophie, Amelie, Laura, Manon, Sarah…

Votre amitié est précieuse et tout cela est grâce à vous.

À mes co-internes,

Aux co-internes orthopédistes nantais, plus vieux, à commencer par Ismaël (machin) avec qui j'ai passé de très bons semestres et qui me fait toujours autant rire, Alexis pour ton humour et ta bonne humeur, Monia et notre passion commune, ainsi que Lucie, My-Van, Aurore et Guillaume. Mes co-internes, plus jeunes, Julien, Corentin, Émilie, Jean G, Marie, Quentin, Cécile, Manon et Pierre Louis.

Sans oublier évidement mes co-internes de promo, Jean et Henri, sur qui je peux compter et que j'apprécie retrouver.

Merci tout d'abord pour votre aide dans ma thèse, car sans vous, cela n'aurait pas été possible. Merci également d'avoir partagé ce bout de chemin qu'est l'internat. Vous l'avez rendu possible et bien plus sympa. Plus que des collègues, vous êtes devenus de véritables amis.

A ceux croisés à la main, Gaspard, Claire, Ismaël, Antonin, puis Marie, Joana et Arthur. Vous m'avez partagé vos connaissances et votre sympathie et je vous en remercie.

A ceux croisés à Bordeaux, Clara, Julia, Thomas, Hugo, Bassel, Crina, Mehdi, Louis Charles, Laura, Alexandre. Vous avez rendu ce dernier semestre, asymétrique, encore plus savoureux, et contribué à me faire aimer Bordeaux. Merci de m'avoir aidé dans ce travail en me soutenant moralement. Je vous le dois aussi. J'espère ne pas vous perdre de vue une fois de retour à Nantes.

Au CJO

Collège des Jeunes Orthopédistes, belle association dans laquelle j'ai été accueilli en tant que chargé de communication. Plus qu'une association, c'est une aventure humaine, chronophage, mais qui m'a fait rencontrer des personnes extraordinaires, à commencer par Antoine MARTINS et Pierre-Emmanuel CHAMMAS. Vous avez été très inspirants, avec votre profil ultra polyvalent, engagé associatif, chirurgien. J'espère avoir été à la hauteur et j'espère suivre votre chemin de réussite. Merci à Renaud SIBONI, actuel président, pour sa confiance et sa sympathie.

À Maurise SAUR, Sharon ABIHSSIRA, Pierre MARTZ, Jean Gabriel DELVAQUE, Louis DAGNEAUX, Caroline COINTAT, Thomas CHAUVET, Yoann DELMAS et Grégoire MICICOI, merci pour ces moments partagés en réunion ou autour d'une bonne table. Votre engagement rend mon investissement pour le CJO d'autant plus facile et appréciable.

Au Pr Luc FAVARD et au Dr Philippe TRACOL, président de la SOFCOT et du CNP-COT respectivement, que j'ai eu l'honneur et la chance de rencontrer, grâce au CJO. Votre accueil m'a énormément touché, ainsi que votre marque de sympathie. Les échanges avec vous ont été précieux, motivants et inspirants, autant sur le plan professionnel que personnel. Je souhaitais à travers ces quelques lignes vous témoigner de mon profond respect et de ma sincère gratitude.

Aux équipes médicales, paramédicales et secrétaires

Je ne pourrais tous vous nommer individuellement, et j'espère qu'aucune et aucun d'entre vous ne m'en voudra tant vous avez été nombreux. Cela ne reflète en aucun cas un manque de considération tant j'estime que vous êtes un des « maillons » indispensables à la prise en charge des patients, ainsi que la formation des internes, notamment la mienne. Les moments de partage dans les salles de soins, les rires comme les plaintes, ont été pour moi indispensables pour maintenir la tête hors de l'eau dans ce cursus parfois difficile et éprouvant. J'espère que certains d'entre vous se reconnaitrons à travers ces quelques lignes. Elles témoignent de ma profonde reconnaissance à votre égard.

Remerciements particuliers : Au laboratoire d'Anatomie, notamment au Pr HAMEL, ainsi qu'à Mr Stéphane LAGIER et Mr Yvan BLIN pour leur disponibilité, leur accompagnement, leur aide et leur sympathie dans mon travail au laboratoire. À Mme Maud LAVALLARD, pour son aide précieuse et sa bienveillance lors de mes sollicitations. A la société DePuy-Synthes® (Raynham, Massachusetts, USA) et Newclip Technics® (Haute-Goulaine, France) pour leur aide technique et logistique.

TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES ILLUSTRATIONS *11*
LISTE DES ABREVATIONS *12*
RÉSUMÉ *13*
1 INTRODUCTION *14*
1.1 CONTEXTE **14**
1.2 JUSTIFICATION **15**
2 MATÉRIEL ET METHODE *17*
2.1 DESIGN DE L'ETUDE **17**
2.1.1 Type et lieu de l'étude 17
2.1.2 Population 17
2.1.3 Groupe « Simulation » 19
2.1.3.1 Déroulement générique d'un module de simulation sur os synthétique 19
2.1.3.1.1 Briefing 19
2.1.3.1.2 Démonstration 19
2.1.3.1.3 Exercice 19
2.1.3.1.4 Débriefing 20
2.1.3.2 Contenu d'un module sur os synthétique 20
2.1.3.2.1 Module « Olécrane » 20
2.1.3.2.2 Module « Humérus » 21
2.1.4 Groupe « Contrôle » 22
2.2 OBJECTIFS DE L'ÉTUDE **22**
2.2.1 Évaluation des habiletés techniques (OSATS) 22
2.2.2 Évaluation radiologique 22
2.2.3 Auto-questionnaires 22
2.3 METHODE D'ÉVALUATION **23**
2.3.1 Évaluation de la transposition des habiletés techniques sur sujet anatomique 23
2.3.1.1 Conditions techniques communes 23
2.3.1.2 Module Olécrane 24
2.3.1.3 Module Humérus 24
2.3.2 Données d'évaluation 25
2.3.2.1 Évaluation des habiletés techniques (OSATS) 25
2.3.2.2 Évaluation radiologique 26
2.3.2.3 Auto-questionnaire 26
2.4 ANALYSE STATISTIQUE **27**
2.5 ÉTHIQUE ET FINANCEMENT **27**
3 RÉSULTATS *28*
3.1 POPULATION ETUDIÉE **28**
3.2 ÉVALUATION **29**
3.2.1 Module Olécrane 29
3.2.1.1 Évaluation des habiletés techniques (OSATS) 29
3.2.1.2 Évaluation radiologique 30
3.2.2 Module Humérus 32
3.2.2.1 Évaluation des habiletés techniques (OSATS) 32
3.2.2.2 Évaluation radiologique 33
3.3 Auto-questionnaires **35**
3.3.1 Les apprenants 35
3.3.2 Les encadrants 35
3.3.3 Retour d'expérience général 35
4 DISCUSSION *36*

4.1 À PROPOS DES RÉSULTATS 36
4.1.1 Module Olécrane 36
4.1.2 Module Humérus 39
4.2 CHOIX METHODOLOGIQUES 42
4.2.1 Format de l'étude 42
4.2.2 Évaluation des habiletés techniques (OSATS) 43
4.2.3 Évaluation radiologique 44
4.2.4 Validité et forces de notre étude 45
4.2.5 Limites de notre étude 46
4.3 PERSPECTIVES 47
5 CONCLUSION 48
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 49
ANNEXES ET FIGURES SUPPLEMENTAIRES 56

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 - Diagramme de flux de l'étude 18
Figure 2 - Formation des apprenants sur os synthétiques Sawbones ® 21
Figure 3 - Formation et évaluation des apprenants sur sujet anatomique 24
Figure 4 - Guide de coupe Newclip Technics ® 25
Figure 5 - Comparaison en box plot des résultats OSATS pour le module "Olécrane" 29
Figure 6 - Comparaison en box plot des résultats radiologiques du module "Olécrane" 31
Figure 7 - Radiographies de face et profil des segments d'Olécranes ostéosynthésés 31
Figure 8 - Comparaison en box plot des résultats OSATS pour le module "Humérus" 32
Figure 9 - Comparaison en box plot des résultats radiologiques pour le module "Humérus" . 33
Figure 10 - Radiographie de face et profil des segments d'humérus ostéosynthésés 34

Figure supplémentaire 1 - Maquette du DES avec les 15 modules obligatoires 56
Figure supplémentaire 2 - Salle de Briefing 56
Figure supplémentaire 3 - Score OSATS "Olécrane" 57
Figure supplémentaire 4 - Score OSATS 'Humérus" 58
Figure supplémentaire 5 - Score Radiologique "Olécrane" 59
Figure supplémentaire 6 - Score Radiologique "Humérus" 60
Figure supplémentaire 7 - Auto-questionnaire concernant la formation 61
Figure supplémentaire 8 - Rendu graphique en modélisation 3D d'un guide de coupe d'olécrane 62
Figure supplémentaire 9 - Rendu graphique en modélisation 3D d'un guide de coupe d'humérus 63
Figure supplémentaire 10 - Comparaison en box plot des résultats du score OSATS pour le module « Olécrane » et le module « Humérus » pour le sous-groupe « Externe » 64
Figure supplémentaire 11 - Comparaison en box plot des résultats du score radiologique pour le module « Olécrane » et le module « Humérus » pour le sous-groupe « Externe » 64
Figure supplémentaire 12 - Différence de calibre osseux 65

LISTE DES ABREVATIONS

3D : Trois dimensions

ABOS: *American Board of Orthopaedic Surgery:* Conseil Américain de Chirurgie Orthopédique

AO Trauma : *Arbeitsgemeinschaft fur Osteosynthesefragen Trauma* : Association pour l'étude de l'ostéosynthèse en traumatologie

ASSET : *Arthroscopic skill evaluation tool :* Outil d'évaluation des compétences arthroscopiques

CHU : Centre Hospitalier Universitaire

COT : Chirurgie orthopédique et traumatologie

DES : Diplôme d'études spécialisées

DFASM : Diplôme de formation approfondie en sciences médicales

GRS : *Global Rating Scale* : Échelle de notation globale

HAS : Haute Autorité de Santé

HUGO : Hôpitaux Universitaires du Grand Ouest

HUGOrtho : Regroupement des services de chirurgie orthopédique du réseau des Hôpitaux Universitaires du Grand Ouest

IC 95% : Intervalle de confiance à 95%

LCP : *Locking Compression Plate* : Plaque de compression verrouillée

Max.: Maximum

Min.: Minimum

OR: Odds Ratio

OSATS : *Objective structured assessment of technical skill* : évaluation objective structurée des compétences techniques.

Simulation BF : Simulation basse-fidélité

Simulation HF : Simulation haute-fidélité

VA : Voie d'abord

VR : *Virtual reality* : Réalité virtuelle

RÉSUMÉ

***Introduction* :** La simulation chirurgicale en traumatologie nécessite une validation pédagogique, notamment de la transposition des compétences en ostéosynthèse sur os synthétique vers la pratique au bloc opératoire. L'objectif de ce travail était de comparer deux groupes d'apprenants par le score OSATS (Objective structured assessment of technical skill), l'un bénéficiant de la simulation et l'autre n'en bénéficiant pas. Le second objectif était d'analyser la qualité radiologique de l'ostéosynthèse entre ces deux groupes.

***Hypothèse* :** L'hypothèse était que si les apprenants s'exerçaient par simulation sur os synthétique, ils présenteraient de meilleures habiletés techniques au bloc opératoire que ceux n'en bénéficiant pas.

Méthode : 16 apprenants (10 « Internes » et 6 « Externes ») ont été randomisés en 2 groupes : « Simulation » et « Contrôle ». Le groupe « Simulation » a bénéficié d'un entrainement sur os synthétique, réalisant à deux reprises les modules d'ostéosynthèse de base : « Olécrane » et « Humérus ». Les habiletés techniques ont été évaluées sur sujets anatomiques par des évaluateurs en aveugle à l'aide du score OSATS ainsi que d'un score radiologique dédié.

Résultat : Concernant le module « Olécrane », le score OSATS moyen était supérieur de 9,3% dans le groupe « Simulation » (81.2%) par rapport au groupe « Contrôle » (71.9%) *(p=0,313)* ; Dans le sous-groupe « Interne », ce score était significativement supérieur de 13,6% dans le groupe simulation (89.1%) par rapport au groupe contrôle (75.5%) *(p=0,017).* Le score radiologique moyen était significativement supérieur de 18,3% dans le groupe « Simulation » (73.3%) par rapport au groupe contrôle (55.5%) *(p=0,038)*. Concernant le module « Humérus », la différence n'était pas significative pour le score OSATS (78.2% vs 65.3%*, p=0.216)* ni pour le score radiologique (59.5% vs 54.8%*, p=0.058*) entre les groupes simulation et contrôle.

Conclusion : Notre étude apporte la preuve de la validité du transfert de compétence pour des habiletés techniques simples, comme le brochage-haubanage d'olécrane, chez les internes de chirurgie, ceci malgré un faible effectif. L'ostéosynthèse de fracture d'humérus, pourrait nécessiter un modèle de fidélité plus important, par l'association de parties molles aux os synthétiques. Une progression graduelle de fidélité de modèle de simulation et de complexité semble nécessaire, de plus la pérennité de ces acquis devra être confirmée à un plus long recul.

Type d'étude / niveau de preuve : étude pédagogique, prospective, multicentrique, randomisée en simple aveugle, d'évaluation de la transposition des acquis.

1 INTRODUCTION

1.1 CONTEXTE

L'apprentissage de la chirurgie se fait classiquement par compagnonnage en salle d'opération [1], et la pratique supervisée d'un apprenant par un chirurgien expérimenté est la formation la plus fréquente. Cependant, l'enseignement chirurgical grâce à la simulation prend une part de plus en plus importante dans le cursus chirurgical. Aux États-Unis, l'American Board of Orthopaedic Surgery (ABOS) exige qu'il y ait une formation aux habiletés techniques pour les internes en chirurgie de première année, depuis 2012 [2]. En France, les récentes réformes des études de troisième cycle en médecine ont également systématisé la simulation dans les maquettes de formation [3,4] : en chirurgie orthopédique et traumatologique, 15 modules de formation procédurale sont devenus obligatoires, depuis 2017 (Figure supplémentaire 1).

La simulation est un outil pédagogique qui répond aux nouvelles contraintes, permettant notamment de se soustraire à la limitation de durée de travail hebdomadaire de 48h, des repos de sécurité, ainsi qu'à la disponibilité des pathologies et des techniques rencontrées. D'une part, elle permet d'accepter et de valoriser l'échec dans le processus d'apprentissage ; d'autre part, elle satisfait l'objectif éthique de « Jamais la première fois sur la patient », justifiant donc son développement pour la sécurité du patient et de l'interne [1,5–9]. La simulation répond également à un impératif médico-légal, en effet la judiciarisation croissante dans le domaine de la santé peut freiner des chirurgiens à confier leurs patients aux apprenants qu'ils supervisent. De plus, l'aspect logistique est un argument supplémentaire permettant la réutilisation de consommables, et de se soustraire à la stérilisation. Enfin, la littérature semble suggérer que l'investissement dans la formation en simulation peut, in fine, produire des économies importantes sur les coûts des soins médicaux [5,6,10,11].

Historiquement, les méthodes de simulation les plus utilisées étaient organiques, sur animal ou sujet anatomique [12]. Pour des raisons de disponibilité, d'éthique, et de progrès technologiques, d'autres méthodes se sont développées, allant du simple modèle basse fidélité (BF) (bois, os synthétiques) [13,14], aux systèmes plus sophistiqués, dits de hautes fidélités (HF) [15,16], comme les simulateurs avec retour haptique ou les masques d'immersion en réalité virtuelle (VR) [17–19].

L'apprentissage de compétences par simulation est déjà présent dans de nombreux métiers de haute technicité, comme l'aviation, depuis le début du 20e siècle [1]. En chirurgie, ces dernières années, la simulation a aussi fait ses preuves dans d'autres disciplines telles que la chirurgie urologique, viscérale, plastique, ou obstétrique, qui l'ont inclus depuis dans leurs programmes de formation [10,20–24]. La chirurgie orthopédique ne reste pas en marge, avec l'utilisation de plus en plus présente de simulateurs d'arthroscopie [25–36], mais ce n'est pas le cas de la traumatologie, qui accuse un certain retard [37,38].

1.2 JUSTIFICATION

En traumatologie, la manipulation d'outils chirurgicaux, de mèches ou de broches est fréquente, et n'est pas dénuée de risque pour l'apprenant et le patient. L'habileté technique à développer pour leur usage fait partie intégrante du cursus, et ces compétences sont nécessaires à tout chirurgien orthopédique [39]. Certaines localisations anatomiques présentent un risque de lésions neurologiques [40,41], vasculaires [42,43] ou tendineuses [44] par erreur technique notamment de sur-forage [11], de longueur excessive de vis [43–46] ou de protrusion de broche [47]. Cette iatrogénicité justifie la nécessité d'optimiser l'enseignement de compétences techniques en amont du bloc opératoire, et semble donc légitimer l'utilisation de techniques de formation procédurale par simulation en traumatologie.

Même si le rôle et le bénéfice de la simulation semblent intuitifs, peu de données existent concernant la transposition des habiletés acquises. Les publications, ayant pour thème la simulation se multiplient [5,10,11,20,48–51], notamment pour démontrer l'amélioration des compétences sur os synthétique [13,52], mais peu évaluent leurs transpositions vers le sujet anatomique en traumatologie [38,53]. Le rationnel scientifique reste donc à établir, afin de promouvoir ces outils.

Notre hypothèse était que des apprenants s'exerçant de façon répétée par simulation en traumatologie, seraient capables de développer de meilleures compétences techniques que ceux suivant un cursus standard. Il s'agissait d'étudier la « validité du transfert » des acquis, en étudiant deux exercices chirurgicaux de traumatologie de base : une fracture d'olécrane et une fracture d'humérus [37].

L'objectif était d'évaluer la capacité à transposer des compétences chirurgicales entre la simulation sur os synthétique et la pratique sur sujet anatomique à l'aide d'une évaluation par un score objectif OSATS (Objective Structured Assessment Of Technical Skill*)*. Le deuxième objectif était d'évaluer la qualité de la réduction et de l'ostéosynthèse à l'aide d'une analyse radiologique.

2 MATÉRIEL ET METHODE

2.1 DESIGN DE L'ETUDE

2.1.1 Type et lieu de l'étude

Il s'agissait d'une étude pédagogique, multicentrique, prospective et comparative. L'étude était de niveau de preuve 2, grade B selon les recommandations de l'HAS. Celle-ci s'est déroulée entre le mois de Janvier et Avril 2022, dans les locaux de l'école de chirurgie (Pr Rigaud) et au laboratoire d'Anatomie de l'Université de Nantes (Pr Hamel). Les évaluateurs et les apprenants étaient issus des CHU de Nantes, Rennes et Angers.

2.1.2 Population

Parmi les 21 internes en 1er semestre de chirurgie orthopédique et traumatologique du réseau HUGOrtho, nous avons inclus dix internes « phases socles » et six externes en 6ème année de médecine, volontaires et se destinant à la chirurgie pour l'internat. Notre cohorte de 16 apprenants a été randomisée en deux groupes de huit apprenants : « Simulation » et « Contrôle », avec une proportion égale d'internes et d'externes dans chaque groupe (Figure 1).

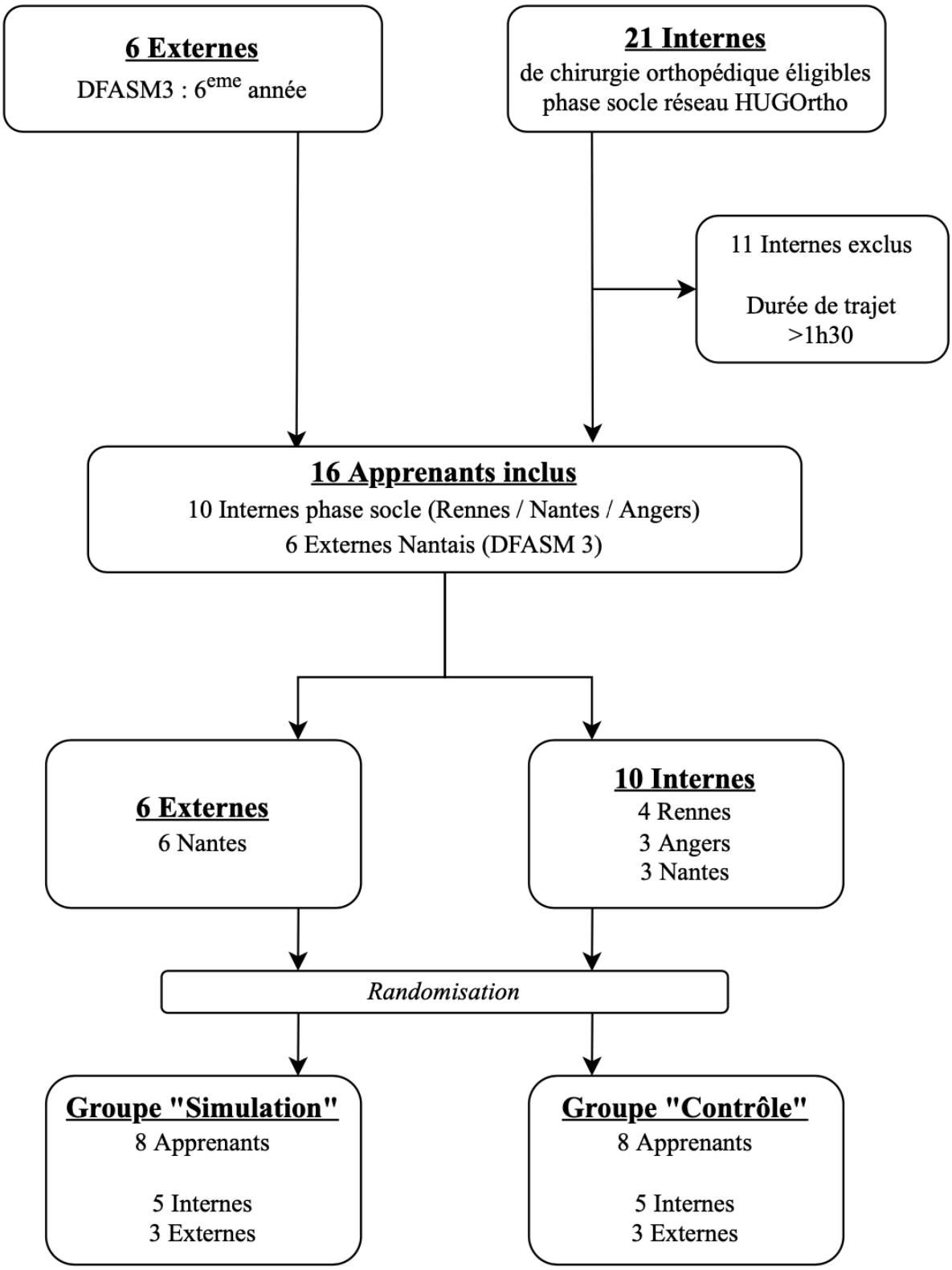

Figure 1 - Diagramme de flux de l'étude
DFASM3 : Diplôme de formation approfondie en Sciences Médicales de 3e année ; HUGOrtho : Regroupement des services de chirurgie orthopédique du réseau des Hôpitaux Universitaires du Grand Ouest.

2.1.3 Groupe « Simulation »

Le groupe « Simulation » a bénéficié de deux sessions de simulation espacées de six semaines sur os synthétique de type Sawbones® (Vashon, Washington, USA), comprenant à chaque fois les modules « Olécrane » et « Humérus ». Les sessions comprenaient quatre apprenants, encadrés par deux chirurgiens séniors.

2.1.3.1 Déroulement générique d'un module de simulation sur os synthétique

Le schéma de déroulement s'appuyait sur les recommandations de la Haute Autorité de Santé (HAS) [54] concernant la simulation en santé : « Briefing, Démonstration, Exercice, Débriefing ».

2.1.3.1.1 Briefing

Chaque séance débutait avec une présentation de l'encadrant (Figure supplémentaire 2) expliquant les objectifs du module et reprenant les bases théoriques des différents temps de la technique d'ostéosynthèse. Ce temps permettait de se familiariser avec le nom des instruments, l'anatomie et la voie d'abord. Un temps d'échange et de questions était réalisé systématiquement à la fin du briefing.

2.1.3.1.2 Démonstration

La démonstration de la réduction et de l'ostéosynthèse était effectuée par l'encadrant sur os synthétique. Celui-ci réalisait point par point, les différents temps opératoires expliqués lors du briefing, avec des explications complémentaires sur le bon usage d'un instrument, son positionnement, ainsi que sur les difficultés techniques.

2.1.3.1.3 Exercice

Les apprenants réalisaient l'exercice suivant les objectifs définis. Chaque apprenant était accompagné par un encadrant qui pouvait apporter des conseils durant la mise en pratique si l'apprenant présentait des difficultés. L'exercice était limité à 20 minutes.

2.1.3.1.4 Débriefing

Le module se terminait par un débriefing commun qui permettait de reprendre les objectifs pédagogiques. Cette rétroaction laissait l'étudiant revenir sur les difficultés ressenties. Une synthèse personnelle était réalisée, puis une synthèse générale avec l'ensemble des apprenants reprenant les étapes importantes, les difficultés rencontrées et les points d'améliorations.

2.1.3.2 Contenu d'un module sur os synthétique

Deux actes de traumatologie de base ont été étudiés en équivalence au module 5 (Vissage/ forage).

Lors d'une même session de simulation, les modules « Olécrane » et « Humérus » étaient réalisés. Une seconde session était réalisée systématiquement à six semaines de la première afin de répéter ces modules. Ces derniers ont été réalisés à l'école de chirurgie, sur un établi avec étaux Sawbones® (Vashon, Washington, USA) (SKU : 1605) et moteurs TPS Stryker® (Kalamazoo, Michigan, USA).

2.1.3.2.1 Module « Olécrane »

Il s'agissait de la réduction et de l'ostéosynthèse d'une fracture transverse simple articulaire d'olécrane (OTA type 2U1B1*) par brochage et haubanage (Figure 2A), à l'aide d'ulnas synthétiques Sawbones® (Vashon, Washington, USA) (SKU : 1026-3). Ces derniers avaient une longueur de 28 cm et un canal médullaire de 5 mm de diamètre. La synthèse était réalisée avec un fil métallique (1,25 mm) et deux broches de Kirschner (18mm). Les instruments nécessaires à la réalisation d'un hauban étaient disposés sur l'établi (maillet, pince coupe-fil, pince forte…). Le principe de conversion des forces de tractions en forces de compressions y était expliqué.

2.1.3.2.2 Module « Humérus »

Il s'agissait de la réduction et de l'ostéosynthèse d'une fracture diaphysaire d'humérus oblique moyenne (OTA type 12A2*) par plaque et vis (Figure 2B), à l'aide d'humérus synthétiques Sawbones® (Vashon, Washington, USA) (SKU : 1028-22). Ces derniers avaient une longueur de 36 cm et un diamètre de canal de 10 mm. Une synthèse mixte était réalisée avec une plaque LCP (Locking Compression Plate*)* petit fragment de huit trous et des vis, corticales et verrouillées de diamètre 3,5mm DePuy Synthes® (Raynham, Massachusetts, USA). Les instruments nécessaires à la réalisation de l'ostéosynthèse étaient disposés sur l'établi (Daviers, guides mèches, mèches, jauge de mesure...). Le principe de compression dynamique à l'aide d'une plaque y était expliqué, ainsi que les différences entre les vis corticales et verrouillées.

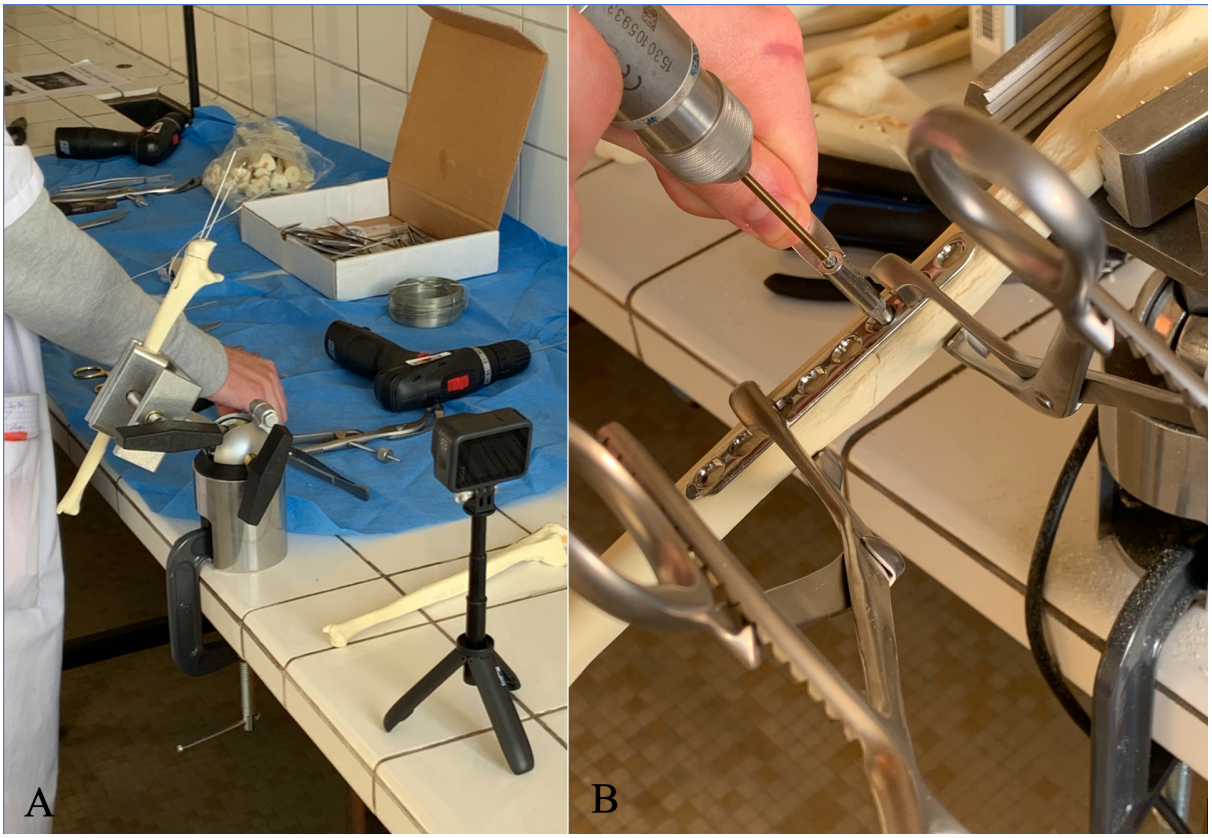

Figure 2 - Formation des apprenants sur os synthétiques Sawbones ®
A) Module « Olécrane » ; B) Module « Humérus »

2.1.4 Groupe « Contrôle »

Le groupe « contrôle » n'a pas bénéficié de la formation procédurale sur os synthétique, et a suivi un cursus normal d'interne ou d'externe au sein des services du CHU avec une formation conventionnelle.

2.2 OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

L'évaluation de l'ensemble des apprenants s'est déroulée sur sujets anatomiques selon les objectifs suivants :

2.2.1 Évaluation des habiletés techniques (OSATS)

L'objectif était d'évaluer et de comparer les habiletés techniques chirurgicales par le score procédural OSATS [13,48,55–57] entre les groupes « Simulation » et « Contrôle » sur les réductions et ostéosynthèses de fracture d'olécrane et d'humérus.

2.2.2 Évaluation radiologique

Nous avons évalué la qualité de la réduction et de l'ostéosynthèse entre les groupes « Simulation » et « Contrôle », des olécranes et des humérus avec une analyse radiologique par un score dédié.

2.2.3 Auto-questionnaires

Nous avons également réalisé un auto-questionnaire de retour d'expérience, destinée aux apprenants ainsi qu'aux évaluateurs.

2.3 METHODE D'ÉVALUATION

2.3.1 Évaluation de la transposition des habiletés techniques sur sujet anatomique

Le groupe « Simulation » et le groupe « Contrôle » ont participé à l'évaluation sur sujets anatomiques, au laboratoire d'Anatomie de Nantes. Ces sessions d'évaluation suivaient le même déroulé que celles sur os synthétique, la démonstration et l'exercice étaient cette fois ci réalisés sur les sujets anatomiques sans intervention spontanée ni aide de l'encadrant. Une limite de temps était fixée à 20 minutes.

2.3.1.1 Conditions techniques communes

Le poste de travail était composé d'un sujet anatomique, d'un apprenant-opérateur, d'un évaluateur (chirurgien sénior), d'un aide-opératoire (interne en fin de cursus), ainsi que d'une table d'instrumentation avec l'ancillaire et le matériel nécessaire (Figure 3). Chaque apprenant pratiquait sur un membre supérieur dédié et les sujets anatomiques étaient positionnés sur plateau plat avec un scialytique éclairant le site opératoire. L'évaluation était en « simple aveugle », les évaluateurs ne connaissant pas le groupe dans lequel l'apprenant avait été randomisé.

L'abord chirurgical et les traits de fractures étaient réalisés au préalable par les encadrants à l'aide de guides de coupe Newclip Technics® (Haute-Goulaine, France) conçus spécialement pour l'étude, reproduisant les fractures des os synthétiques (OTA type 2U1B1* et OTA type 12A2*), avec une lame de scie fine (0,38mm) (Figure 4).

Une instrumentation similaire à celle utilisée lors des modules sur os synthétiques était disposée sur la table, avec en plus, celle nécessaire à la gestion des parties molles (écarteur, contre coudés..).

Figure 3 - Formation et évaluation des apprenants sur sujet anatomique
A) Disposition de l'apprenant-opérateur, de l'aide-opératoire et de l'évaluateur ; B) Table d'instrumentation avec ancillaire et instruments nécessaires aux modules.

2.3.1.2 Module Olécrane

Les sujets anatomiques étaient installés en décubitus latéral, avant-bras pendant, avec un billot dans le dos pour maintenir la position. Les tables d'instrumentations étaient composées d'un moteur à batterie Synthes® (Colibri SYW-004.501) (Raynham, Massachusetts, USA) et de ses composants, notamment d'un nez à broche, ainsi que des broches de Kirschner (18 mm), de fils de cerclage (1,25mm) et d'instruments nécessaires à la réalisation d'un hauban.

L'abord était postérieur, s'étendant de 5 cm en amont, à 8 cm en aval du relief de l'olécrane. Le trait de fracture était réalisé selon le positionnement du guide générique.

2.3.1.3 Module Humérus

Le sujet anatomique était en position de décubitus dorsal avec le bras le long du corps, main sur l'abdomen. Les tables étaient composées du même moteur, d'un nez à encliquetage rapide pour mèche verrouillée et mèche corticale de 2,5mm, ainsi que de daviers réducteurs. Nous disposions d'ancillaires LCP petit fragment DePuy Synthes® (Raynham, Massachusetts, USA), avec plaques huit trous et visserie (corticales et verrouillées).

L'abord réalisé était une approche latérale, à 8cm de l'épicondyle latéral, s'étendant sur 15 cm, abordant directement l'os, sans dissection ni préservation du nerf radial.

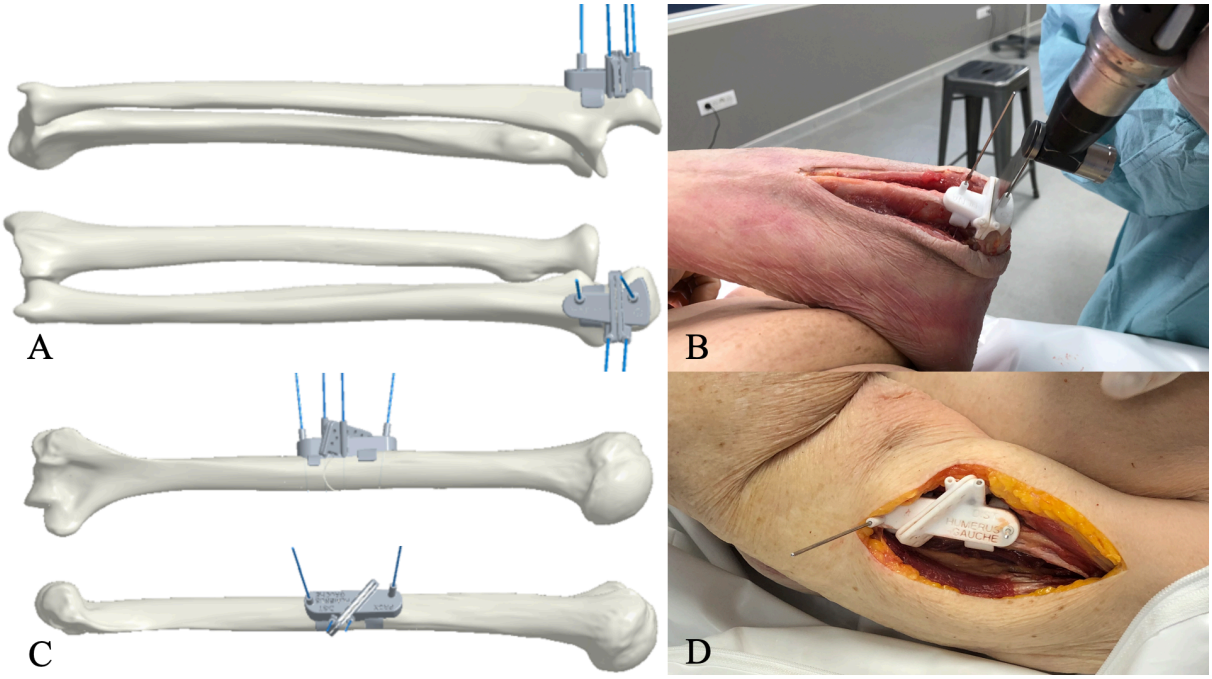

Figure 4 - Guide de coupe Newclip Technics ®
A et C – Rendu graphique de face et de profil en modélisation 3D d'un guide d'olécrane (A) pour une fracture d'olécrane transverse et d'un guide d'humérus (C) pour une fracture oblique moyenne ; B et D – Mise en place et utilisation du guide de coupe sur sujet anatomique.

2.3.2 Données d'évaluation

2.3.2.1 Évaluation des habiletés techniques (OSATS)

Un score objectif procédural dédié basé sur le score OSATS décrit dans la littérature a été construit pour l'étude [48,55–57]. Ce score a été réalisé en validant 18 étapes pour le module « olécrane » et 14 pour le module « humérus » (Figure supplémentaire 3 et 4). L'élaboration des scores, issue des références de l'AO Trauma, a été réalisée et validée conjointement par les encadrants de la discipline à partir de l'expérience de sessions de simulation antérieures.

Il s'agissait d'un score évaluant une série d'étapes chirurgicales standardisées sous l'observation directe d'un chirurgien sénior. Cette analyse était réalisée en per-opératoire, en aveugle du groupe de l'apprenant.

L'exercice était considéré « non terminé » lorsque l'ostéosynthèse ne permettait pas de maintenir, au minimum, les deux segments d'os l'un à l'autre.

2.3.2.2 Évaluation radiologique

Pour l'analyse radiologique, les segments osseux ostéosynthésés ont été déshydratés puis radiographiés de face et de profil selon un protocole standard. L'évaluation quantitative a ensuite été réalisée en aveugle par un radiologue senior, spécialisé en ostéoarticulaire selon des scores qui validaient sept points pour le module « Olécrane » et six pour le module « Humérus ». Les critères d'évaluation concernaient la qualité de la réduction, l'écart interfragmentaire, le choix, le positionnement et la taille du matériel, selon les recommandations de l'AO Trauma (Figure supplémentaire 5 et 6).

2.3.2.3 Auto-questionnaire

À la fin de la session d'évaluation, chaque apprenant faisait son retour d'expérience via un auto-questionnaire (Figure supplémentaire 7). Celui-ci a également été complété par les encadrants et évaluateurs.

2.4 ANALYSE STATISTIQUE

Les données suivantes ont été colligées, anonymisées et reportées dans une base de données Excel : âge et sexe de l'apprenant ; niveau de l'apprenant (interne ou externe) ; université d'origine ; latéralité ; expériences antérieures (opérateur principal, ou aide-opératoire). Un évaluateur supplémentaire a permis la réalisation d'une seconde évaluation du score OSATS, en aveugle, pour deux étudiants, permettant d'estimer la reproductibilité du score, à titre informatif.

La randomisation des apprenants a été effectuée à l'aide d'un générateur de nombres aléatoires informatique sur le logiciel SPSS (v.19), et les analyses statistiques à l'aide du logiciel Jamovi® (v.2.2.5.0). L'analyse radiologique a été effectuée à l'aide du logiciel Carestream (v.12.1.6.1005). Les variables quantitatives sont présentées sous forme de moyenne, d'écart-type ; les variables qualitatives sont présentées sous forme de nombre absolu et pourcentage. Les comparaisons entre les groupes ont été réalisées avec le test T de Student pour échantillon indépendant concernant les variables continues, et avec le test exact de Fisher pour échantillon indépendant concernant les variables qualitatives. La corrélation entre le score OSATS et le score radiologique a été estimée à l'aide du coefficient de Pearson. Le seuil de significativité de l'ensemble des tests statistiques a été fixé à 5% (soit $p < 0,05$).

2.5 ÉTHIQUE ET FINANCEMENT

Cette étude, hors loi Jardé, n'a pas nécessité de comité d'éthique et a été financée par l'École de Chirurgie de Nantes ainsi que le réseau HUGOrtho.

La mise à disposition des sujets anatomiques et des os synthétiques Sawbones® (Vashon, Washington, USA) a été assurée par l'Université de Nantes (Ecole de Chirurgie et Laboratoire d'Anatomie). Les instruments et consommables ont été mis à disposition par les sociétés DePuy Synthes® (Raynham, Massachusetts, USA) et Newclip Technics® (Haute-Goulaine, France).

3 RÉSULTATS

3.1 POPULATION ETUDIÉE

Aucun des 16 apprenants inclus dans l'étude, n'a été perdu de vue. L'âge moyen des apprenants était de 24,4 ans ± 0,6. Il y avait sept femmes (43,7%) et neuf hommes (56,3%). Les deux groupes étaient comparables sur ces critères (Tableau 1).

	Cohorte totale *(n= 16)*	**Groupe « Simulation »** *(n= 8)*	**Groupe « Contrôle »** *(n= 8)*	*OR*	*IC 95%*	*P value*
Caractéristiques						
Age (ans)	24,4 ±0,6	24,3 ±0,5	24,5 ±0,3			0,438
Hommes	9 (56,3%)	5 (62,5%)	4 (50,0%)	1,61	[0,15 ; 18,76]	1
Femmes	7 (43,7%)	3 (37,5%)	4 (50,0%)			
Niveau						
Interne	10 (62,5%)	5 (62,5%)	5 (62,5%)	1	[0,08 ; 11,69]	1
Externe	6 (37,5%)	3 (37,5%)	3 (37,5%)			
CHU						
Angers	3 (18,75%)	1 (12,5%)	2 (25,0%)			
Nantes	9 (56,2%)	5 (62,5%)	4 (50,0%)			1
Rennes	4 (25,0%)	2 (25,0%)	2 (25,0%)			
Membre dominant						
Gauche	1 (6,2%)	0 (0%)	1 (12,5%)			
Droit	13 (81,2%)	7 (87,5%)	6 (75,0%)			1
Ambidextre	2 (12,5%)	1 (12,5%)	1 (12,5%)			
Expérience antérieure						
Oui	2 (12,5%)	2 (25,0%)	0 (0%)			0,466
Non	14 (87,5%)	6 (75,0%)	8 (100%)			

Tableau 1 - Données démographiques des apprenants.
OR : Odds Ratio ; IC 95% : Intervalle de confiance à 95% ; CHU : Centre Hospitalo-Universitaire.

3.2 ÉVALUATION

3.2.1 Module Olécrane

3.2.1.1 Évaluation des habiletés techniques (OSATS)

Concernant le module « Olécrane », le score OSATS moyen était de 81,2% ± 19,4 dans le groupe « Simulation » contre 71,9% ± 16,0 dans le groupe « Contrôle » (p=0,313). Le score OSATS moyen dans le sous-groupe « Interne » de 89,1% ± 6,6 dans le groupe « Simulation » (n=5) était significativement supérieur (p=0,017) à celui du groupe « Contrôle » (n=5) qui était de 75,5 % ± 7,5 (Tableau 2) (Figure 5).

	OSATS Groupe Simulation *(n=8)*	**OSATS Groupe Contrôle *(n=8)***	*Difference Moyenne*	*P*	*95% Intervale de confiance*
Cohorte totale *(n=16)*	81,2% ± 19,4	71,9% ± 16,0	9,3%	0,313	[-9,7; 28,4]
Sous-groupes:					
Internes (*n=10)*	89,1% ± 6,6	75,5% ± 7,5	13,6%	**0,017***	[3,2; 24,0]
Externes (*n=6)*	68,0% ± 28,4	65,9% ± 26,4	2,13%	0,929	[-60,1; 64,3]

Tableau 2 - Comparaison des scores OSATS pour le module "Olécrane"
* Différence significative p<0,05.

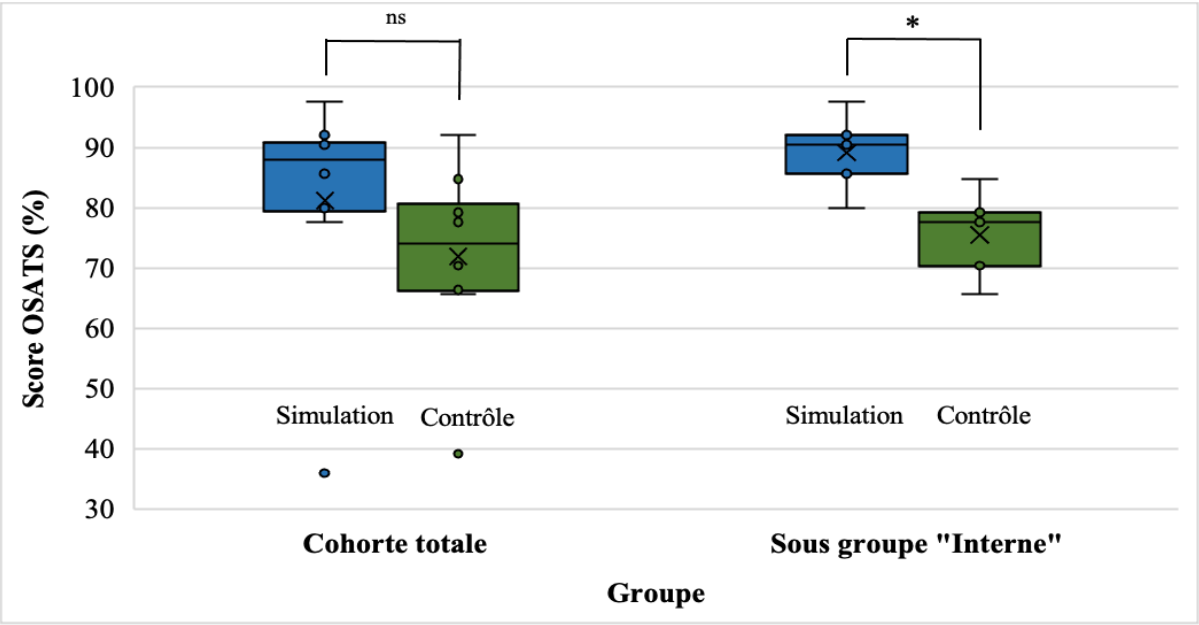

Figure 5 - Comparaison en box plot des résultats OSATS pour le module "Olécrane"
Comparaison du groupe « simulation » et « contrôle » de l'ensemble des apprenants (Cohorte totale) et du Sous-Groupe « Interne » ; * Différence significative p<0,05 ; ns : Non significatif.

Nous ne retrouvions pas de différence de score OSATS pour le sous-groupe « Externe » (Tableau 2) (Figure supplémentaire 10). Le score obtenu par le premier des apprenants doublement évalué, était de 75,8% et de 68,3 %. Le deuxième apprenant doublement évalué a obtenu le score de 80,8% et 85,8%.

3.2.1.2 Évaluation radiologique

Concernant le module « Olécrane », le score radiologique moyen était de 73,8% ± 15,4 dans le groupe « Simulation » contre 55,5% ±16,7 dans le groupe « Contrôle ». Il existait une différence significative (p=0,038) de 18,3% en faveur du groupe « Simulation ». Le score radiologique moyen dans le sous-groupe « Interne » (n=10) était de 78,4% ±10,8 dans le groupe simulation (n=5), significativement supérieur à celui du groupe « contrôle » (48,8% ±15,7) (p=0,008) (Tableau 3) (Figure 6 et 7) (Figure supplémentaire 11).

	Score Radio Groupe Simulation *(n=8)*	**Score Radio Groupe Contrôle *(n=8)***	*Difference Moyenne*	*p*	*95% Intervale de confiance*
Cohorte totale *(n=16)*	73,8% ±15,4	55,5% ±16,7	18,3%	**0,038***	[1,1; 35,4]
Sous-groupes:					
Internes (*n=10)*	78,4% ±10,8	48,8% ±15,7	29,6%	**0,008***	[9,9; 49,3]
Externes (*n=6)*	66,0% ±21,2	66,7% ±13,3	0,7%	0,929	[-40,8; 39,4]

Tableau 3 - Comparaison des résultats radiologiques pour le module "Olécrane"
* Différence significative p<0,05

Tous les apprenants ont terminé le module « Olécrane » dans le temps imparti. Nous ne retrouvions pas de différence de score radiologique pour le sous-groupe « Externe » (Tableau 3) (Figure supplémentaire 11).

Une analyse descriptive complémentaire a permis de mesurer la largeur métaphysaire d'olécrane, allant de 21,1 à 27,9 mm selon les segments osseux.

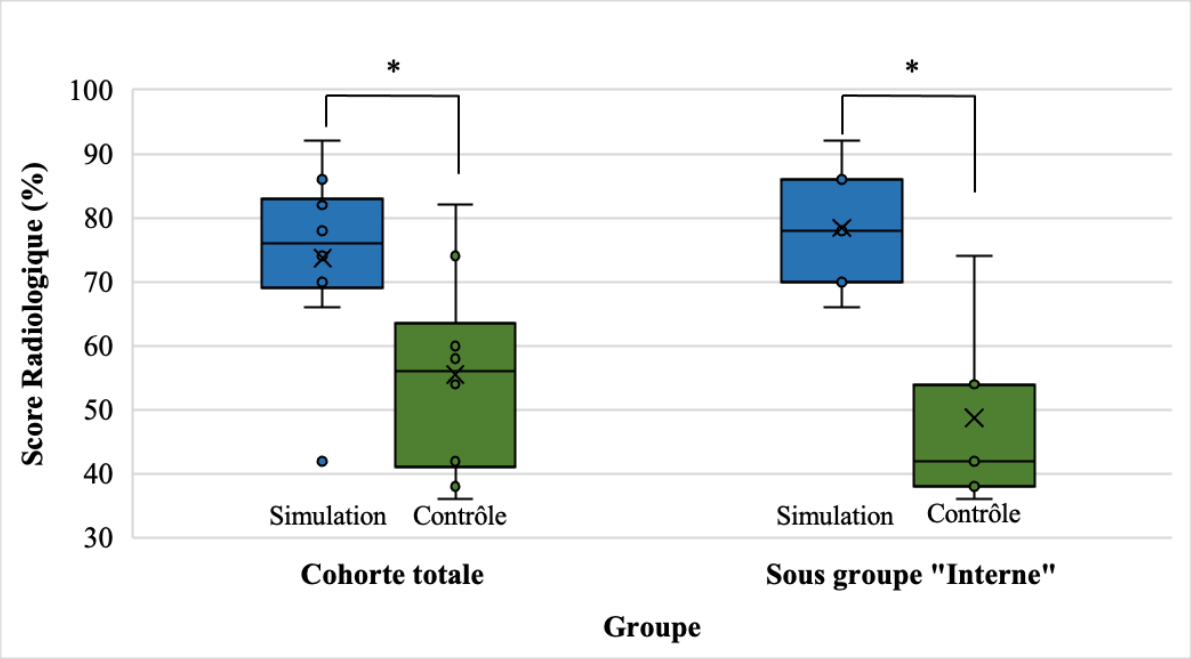

Figure 6 - Comparaison en box plot des résultats radiologiques du module "Olécrane"
Comparaison du groupe « simulation » et « contrôle » de l'ensemble des apprenants (Cohorte totale) et du Sous-Groupe « Interne » ; * Différence significative p<0,05 ; ns : Non significatif.

La corrélation de Pearson, entre le score OSATS et le score radiologique, pour le module « Olécrane » était significative avec un ρ = 0,517 [IC95% : 0,029 ; 0,806] (p=0,040).

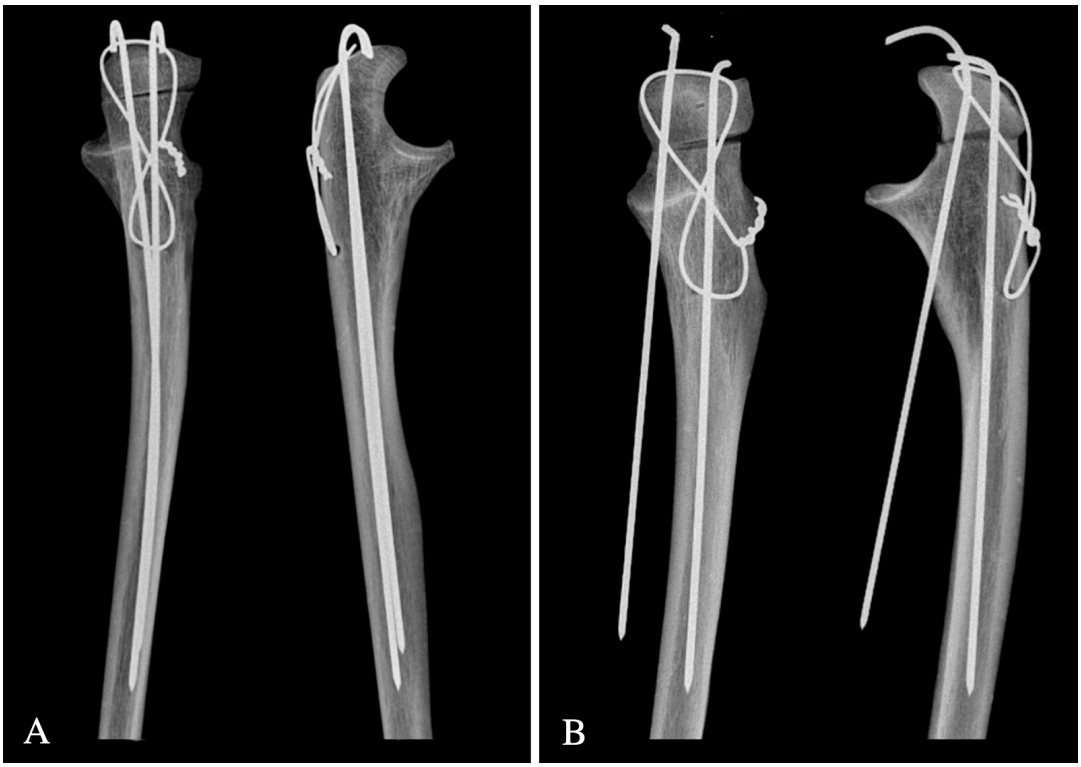

Figure 7 - Radiographies de face et profil des segments d'Olécranes ostéosynthésés
A) Radiographie d'un segment d'Olécrane ostéosynthésé par un apprenant (interne) avec un score radiologique de 92,0% issu du groupe « Simulation » ; B) Radiographie d'un segment d'Olécrane ostéosynthésé par un apprenant (interne) avec un score radiologique de 38,0% issu du groupe « Contrôle ».

3.2.2 Module Humérus

3.2.2.1 Évaluation des habiletés techniques (OSATS)

Concernant le module « Humérus », le score OSATS moyen était de 78,2% ± 22,6 dans le groupe « Simulation » (n=8) contre 65,3% ± 16,5 dans le groupe « contrôle » (n=8) (p=0,216) (Tableau 4). L'analyse en sous-groupe pour les catégories « Interne » et « Externe » ne montrait pas de différence significative (p=0,513 et p=0,341) (Figure 8) (Figure supplémentaire 10).

	OSATS Groupe Simulation *(n=8)*	**OSATS Groupe Contrôle *(n=8)***	*Difference Moyenne*	*p*	*95% Intervale de confiance*
Cohorte totale *(n=16)*	78,2% ± 22,6	65,3% ± 16,5	12,8%	0,216	[-8,4; 34,1]
Sous-groupes					
Internes (*n=10)*	76,5% ± 27,3	67,5% ± 11,6	9,1%	0,513	[-21,5; 39,6]
Externes (*n=6)*	80,9% ± 16,9	61,8% ± 25,6	19,1%	0,341	[-30,0; 68,3]

Tableau 4 - Comparaison des résultats OSATS pour le module "Humérus"
* Différence significative p<0,05

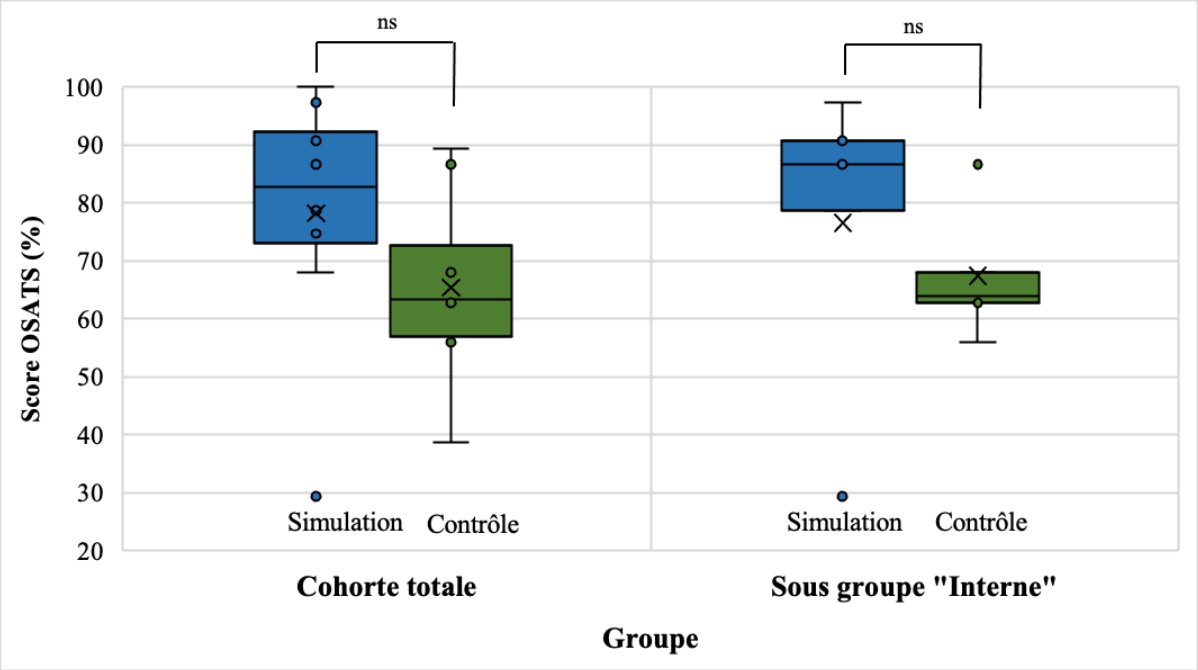

Figure 8 - Comparaison en box plot des résultats OSATS pour le module "Humérus"
Comparaison du groupe « simulation » et « contrôle » de l'ensemble des apprenants (Cohorte totale) et du Sous-Groupe « Interne ». ns : Non significatif.

Le score obtenu par le premier des apprenants doublement évalué, était de 85,7% et de 88,5%. Le deuxième apprenant doublement évalué a obtenu le même score de 47,6% des deux évaluateurs.

3.2.2.2 Évaluation radiologique

Le score radiologique moyen était de 59,5% ±19,0 dans le groupe « Simulation » (n=8) contre 54,8% ±12,0 dans le groupe « contrôle » (n=8) (p=0,558). Nous n'avons pas mis en évidence de différence significative. (Tableau 5) (Figure 9 et 10) (Figure supplémentaire 11).

	Score Radio Groupe Simulation *(n=8)*	**Score Radio Groupe Contrôle *(n=8)***	*Difference Moyenne*	*p*	*95% Intervale de confiance*
Cohorte totale *(n=16)*	59,5% ± 19,0	54,8% ± 12,0	4,6 %	0,558	[-12,3; 21,8]
Sous-groupes					
Internes (*n=10)*	61,4% ± 22,6	54,2% ± 13,2	7,3%	0,552	[-19,7; 34,3]
Externes (*n=6)*	56,4% ± 14,6	55,8% ± 12,4	0,6%	0,959	[-30,0; 31,2]

Tableau 5 - Comparaison des résultats radiologiques pour le module "Humérus"

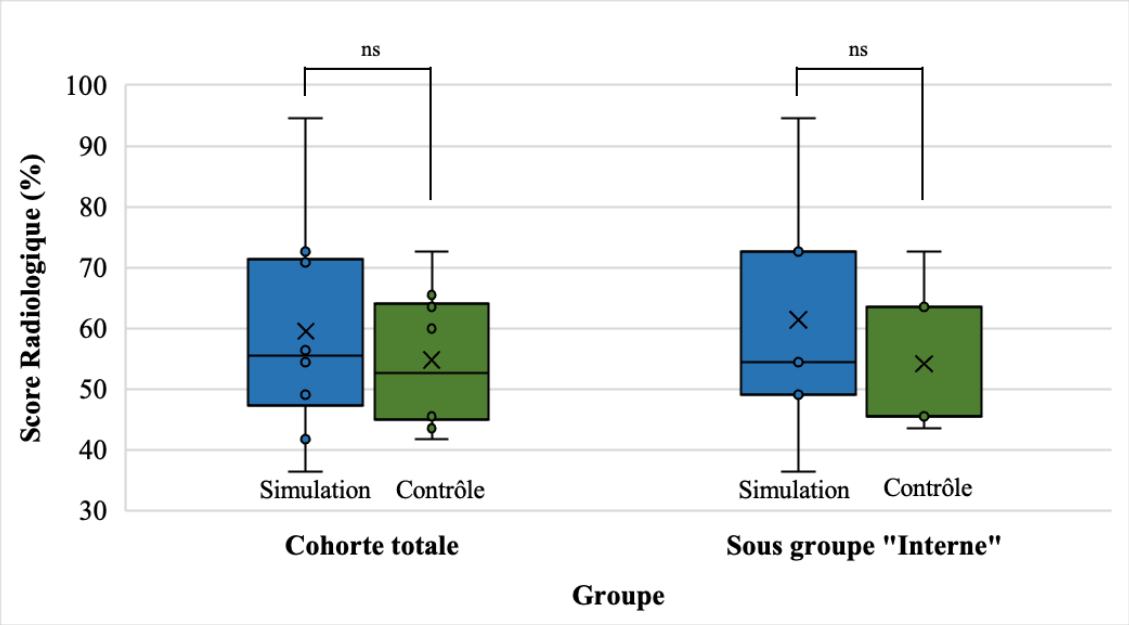

Figure 9 - Comparaison en box plot des résultats radiologiques pour le module "Humérus"
Comparaison du groupe « simulation » et « contrôle » de l'ensemble des apprenants (Cohorte totale) et du Sous-Groupe « Interne ». ns : Non significatif.

La corrélation de Pearson, entre le score OSATS et radiologique, pour le module « Humérus » était de $\rho = 0,482$ avec un intervalle de confiance à 95% [-0,017 ; 0,790] (p=0,058).

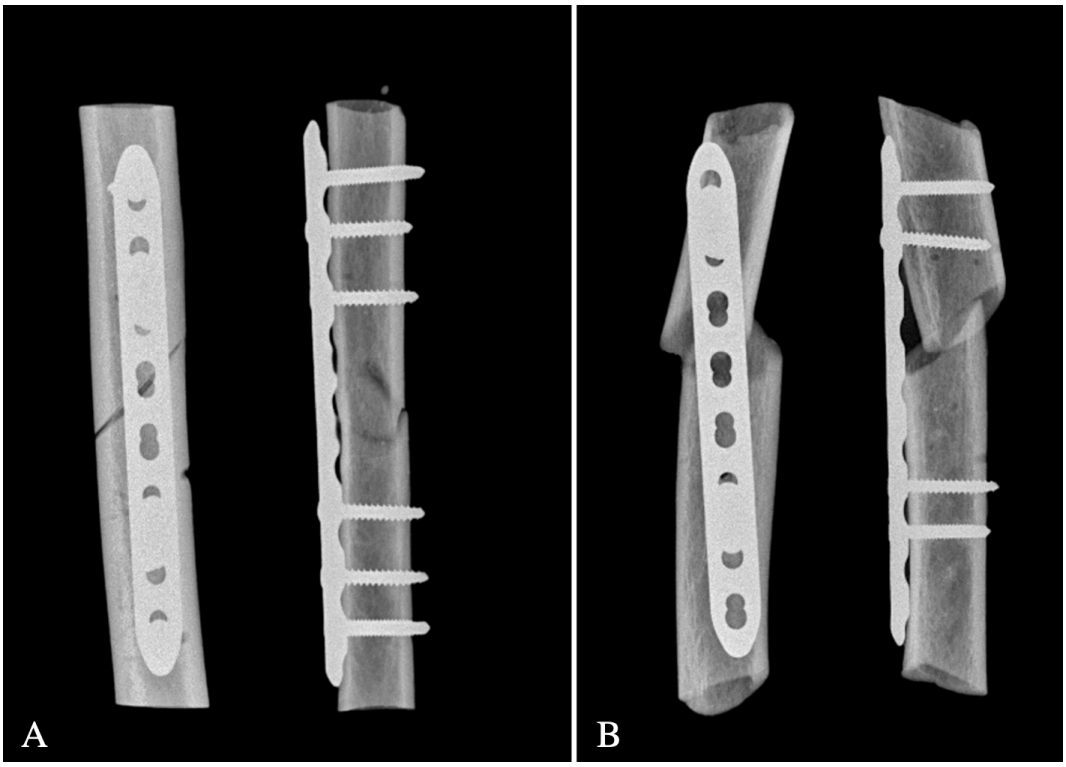

Figure 10 - Radiographie de face et profil des segments d'Humérus ostéosynthésés
A) Radiographie d'un segment d'humérus ostéosynthésé par un apprenant (Interne) avec un score radiologique de 94,5%, issu du groupe « Simulation » ; B) Radiographie d'un segment d'humérus ostéosynthésé par un apprenant (Interne) avec un score radiologique de 43,6%, issu du groupe « Contrôle ».

Un apprenant n'a pas terminé le module « Humérus » dans le temps imparti, obtenant un score OSATS de 31,4% et un score radiologique de 36,4%.

3.3 Auto-questionnaires

3.3.1 Les apprenants

Tous les apprenants du groupe simulation (n=8, 100%) ont estimé que la formation sur os synthétique avait été bénéfique pour la transposition des compétences sur le sujet anatomique.

Sept apprenants (87,5%) du groupe « simulation » se sont senti à l'aise sur les sujets anatomiques contre cinq (62%) dans le groupe « contrôle ». Six apprenants (75%) issus du groupe « simulation » reconnaissaient des similitudes entre les modules sur os synthétiques et les sujets anatomiques, malgré une différence de retour de force et une manipulation moins aisée des os, soulignée par trois (37,5%) d'entre eux.

3.3.2 Les encadrants

Tous (n=6, 100%) estimaient que la formation sur os synthétiques était avantageuse dans la compréhension de la technique chirurgicale ainsi que dans l'apprentissage, la manipulation des instruments et ancillaires. Les six encadrants pensaient également qu'il fallait généraliser ce type de formation. Quatre (66,7%) d'entre eux estimaient que le score OSATS était pertinent pour l'évaluation des compétences. En revanche, aucun d'entre eux ne pensait qu'un score subjectif global soit plus pertinent.

3.3.3 Retour d'expérience général

Le retour d'expérience identifiait un retour positif pour 100% des apprenants à l'issue de l'évaluation finale (n=16), dont 75% se disant très satisfait. Les apprenants se prononcent à 87,5% (n=16) et les encadrants à 100% (n=6) en faveur d'une généralisation de l'apprentissage par simulation sur os synthétique.

4 DISCUSSION

Bien que l'entrainement sur os synthétique semble améliorer les performances des internes en chirurgie orthopédique [11,13,14,52,58], peu de travaux ont véritablement prouvé la validité de transfert des habiletés techniques sur des sujets réels. Cette capacité de transfert de compétences a été évalué en arthroscopie [31–36], ou en chirurgie du rachis [52] mais il existe peu de preuves concernant la chirurgie traumatologique [53].

Nous présentons ici les résultats quant à la transposition des compétences acquises en traumatologie par simulation entre l'os synthétique et le sujet anatomique sur deux fractures du membre supérieur (olécrane et diaphyse humérale).

4.1 À PROPOS DES RÉSULTATS

4.1.1 Module Olécrane

Même si nous ne retrouvions pas de différence significative sur la cohorte globale (n=16) pour le score OSATS (81,2% vs 71,9% ; p=0,313*),* nous avons identifié parmi les internes, et malgré un faible effectif (n=10), un score OSATS significativement supérieur pour le groupe « Simulation » (n=5) par rapport au groupe « Contrôle » (n=5) (89,1% vs 75,5% ; p=0,017*)*.

Il existait également une supériorité significative, parmi les internes (n=10), du score radiologique de 29,6% pour le groupe « Simulation » par rapport au groupe « Contrôle » (78,4% vs 48,8% ; p=0,008*)*. Parmi la cohorte totale (n=16), le score radiologique était également significativement supérieur de 18,3% en faveur du groupe « Simulation » (73,8% vs 55,5% ; p=0,038*)*.

Le module « Olécrane » semble donc démontrer une transposabilité des compétences tant sur l'évaluation technique par le score OSATS (pour les internes) que sur l'analyse radiographique (pour l'ensemble de la cohorte). Ce module sur os synthétique apparait donc pertinent et répond à notre hypothèse, malgré sa basse fidélité.

La littérature montre que la formation aux compétences chirurgicales sur des modèles BF semble être aussi efficace que la formation sur modèle HF (simulateur virtuel avec retour haptique) chez les internes et chirurgiens novices, alors que le coût peut être jusqu'à plus de 100 fois supérieur [10,20,59]. Nos résultats, sur un module BF rejoignent ainsi ceux de Howells et al., qui mettaient en évidence de meilleures compétences psychomotrices au bloc opératoire, dans le groupe d'internes ayant bénéficié de la simulation arthroscopique de genou sur modèle Sawbones ® (Vashon, Washington, USA) par rapport au groupe « contrôle » [31]. Ledermann et al., ont également mis en évidence une amélioration du score de base des internes lors de l'évaluation finale, sur sujet réel, après avoir bénéficié de module de simulation sur un modèle basse fidélité : ils rapportaient ainsi un taux de transfert de 92% entre le simulateur et le sujet réel [32].

Nos résultats en traumatologie sur modèle basse fidélité semblent également rejoindre ceux d'autres disciplines chirurgicales, notamment en urologie : Matsumoto et al., ont mis en évidence un effet significatif sur les performances endo-urologiques d'étudiants en médecine de dernière année ayant pratiqués sur simulateur BF, avec une amélioration de l'échelle d'évaluation globale, du temps et du score de la liste de contrôle. [20].

La transposition des acquis dans notre cas peut être liée à la simplicité de la fracture, avec des critères de réduction et une exposition aisée. Notre évaluation sur sujet anatomique avait ainsi pour objectif d'obtenir des traits de fractures équivalents, par l'utilisation de guides de coupe spécifiques plus précis et reproductibles qu'une coupe à main levé [60]. Néanmoins, il existait des variabilités entre les os synthétiques et les sujets anatomiques, ainsi qu'entre les sujets eux-mêmes ; la largeur métaphysaire d'olécrane allant de 21,1 à 27,9mm. Beser et al.,

ont d'ailleurs mis en évidence ces variations anatomiques, la largeur des olécranes allant, dans leur étude (n=50), de 19,5 à 28,0 mm [61]. Le diamètre centro-médullaire des segments d'os pouvaient également être très différent, induisant une difficulté variable pour le brochage centro-médullaire (Figure supplémentaire 12).

L'absence d'amplificateur de brillance nous a contraint à opter pour le brochage centro-médullaire, technique de référence selon « L'AO Trauma » plutôt que le brochage bi-cortical, plus exigeant [62], et dont la protrusion antérieure des broches peut entrainer des complications vasculo-nerveuses [47]. Il est possible que nos résultats aient été différents avec cette technique plus complexe.

Avec des gestes simples et accessibles en début de cursus, le module « olécrane » s'est présenté comme le plus accessible pour l'apprentissage du brochage-haubanage. Le module de simulation sur os synthétique, tel que proposé, répond donc à notre hypothèse pour les internes, comparativement au groupe n'ayant pas suivi les ateliers de simulation. La simulation BF sur os synthétique serait donc transposable au bloc opératoire pour des habiletés techniques simples comme un haubanage d'olécrane. Ces mêmes habiletés pourraient également être enseignées et proposées pour d'autres fractures traitées de façon similaire, telle que la patella, dont le positionnement des broches a une influence directe sur la stabilité de l'ostéosynthèse [63].

4.1.2 Module Humérus

Malgré une tendance en faveur du groupe « Simulation », nous n'avons pas mis en évidence de différence significative, quel que soit le score. Parmi la cohorte totale (n=16), les scores OSATS et radiologiques étaient supérieurs de 12,8% et 4,76% respectivement, en faveur du groupe « Simulation », mais de manière non significative (p=0,216 et p=0,558). L'analyse en sous-groupe « Interne » ou « Externe » ne retrouvait pas non plus de différence significative pour les scores.

Nous n'avons, par conséquent, pas validé notre hypothèse pour ce module. Un manque de puissance et un trop faible effectif (n=16) dans notre cohorte peuvent expliquer l'absence de résultat significatif. Parallèlement, le faible effectif (n=14) dans la cohorte de Kotler et al. avait également pu expliquer l'absence de résultat significatif, dans l'évaluation de la transposition des compétences en ostéosynthèse de plateau tibial fracturé, entre l'os synthétique et le sujet anatomique [53].

Cette absence de significativité pourrait également être attribué au fait que la gestion des parties molles complexifie la technique sur ce type de fracture. Les sujets anatomiques différaient en densité osseuse, en gabarit, mais aussi en masse musculaire, induisant un biais, avec une difficulté variable en termes de gestion de parties molles : les structures osseuses étant plus profondes pour l'humérus, l'utilisation d'écarteurs et de contre-coudés a été nécessaire mais n'avait pas été expérimenté lors des ateliers de simulation sur os synthétique.

Ces observations rejoignent les conclusions de Naroura et al., qui montraient une supériorité significative d'un simulateur avec des parties molles par rapport à un modèle de simulation BF uniquement osseux, pour enseigner l'ostéotomie d'accourcissement de radius, sur des critères radiologiques [64]. L'hypothèse de cette supériorité est attribuée à une meilleure connaissance de l'anatomie, et surtout à la gestion de celle-ci en per-opératoire afin d'obtenir une exposition satisfaisante.

Saur et al., avaient obtenu une différence, mais non significative, sur les sujets anatomiques entre les groupes d'internes (p = 0,181), dans le taux de malposition des vis pédiculaires. Concordant avec nos résultats, ce manque de significativité était expliqué par la profondeur des vertèbres sur sujet anatomique et l'absence de gestion des parties molles sur le modèle de simulation. Ils avaient néanmoins caché latéralement les pédicules vertébraux du modèle Sawbones® (Vashon, Washington, USA) par de la mousse, anticipant l'absence de visibilité des pédicules et corps vertébraux sur sujets anatomiques [52].

Ces considérations peuvent expliquer le plus faible impact de ce module « humérus » dans notre cohorte par rapport à l'olécrane. La gestion des parties molles a ainsi pu accroitre la difficulté de la chirurgie, déjà plus complexe qu'une prise en charge de fracture d'olécrane. En effet, une fracture oblique diaphysaire d'humérus a pu se révéler plus complexe à réduire, par la manipulation de daviers de Verbrugge. L'orientation plus aléatoire du trait en hauteur et en rotation a aussi pu engendrer un biais supplémentaire, par rapport au trait de fracture transverse d'un olécrane, pouvant être plus simple à reproduire. Le positionnement du guide de coupe a ainsi pu induire un défaut de reproductibilité des fractures entrainant une difficulté variable.

Il est difficile, à partir de notre module sur os synthétiques, pour cette habileté qu'est l'ostéosynthèse par plaque et vis, de transposer celle-ci sur sujet réel, car nous n'avons pas évalué la gestion des parties molles (nerf radial et muscles) sur les sujets anatomiques. Le nerf radial présentant de grandes variations anatomiques [65], et l'ostéosynthèse étant déjà complexe, nous avons fait le choix de n'évaluer qu'elle. Apivatthakakul et al., estiment par ailleurs que pour cette raison, certaines techniques d'ostéosynthèses de l'humérus par plaque ne devraient être effectuées que par des chirurgiens expérimentés, et renforce l'hypothèse d'un module d'une complexité inadapté pour des apprenants novices [40]. D'ailleurs, Kotler et al. ont mis en évidence une moindre réussite des internes de première année, du score OSATS, par rapport aux internes plus expérimentés, dans la transposition des compétences pour l'ostéosynthèse d'une fracture du plateau tibial Schatzker II [53].

Ces éléments plaident sans doute en l'utilisation de modèles de simulation moyenne fidélité, ajoutant aux os synthétiques Sawbones® (Vashon, Washington, USA) des structures musculo-cutanées. Ils plaident également en l'apprentissage de cette habileté avec des modules de complexité croissante, permettant d'assimiler les principes fondamentaux dans un premier temps, que sont la réduction et les concepts d'ostéosynthèse ; puis dans un second temps les compétences d'exposition et de gestion de l'aide opératoire. Une localisation plus aisée, comme sur le radius, déjà évalué sur os synthétique dans le travail d'Egol et al., permettrait peut-être une meilleure assimilation de ces premiers concepts fondamentaux [13].

4.2 CHOIX METHODOLOGIQUES

4.2.1 Format de l'étude

Concernant la question de la fréquence et du nombre de séances, la littérature ne semble pas donner d'orientation : Kotler et al. n'ont réalisé qu'une seule itération sur os synthétiques, quand Saur et al., estiment que c'est insuffisant [52,53]. Ledermann et al., considèrent qu'il faut sept séances pour atteindre un plateau de performance dans l'apprentissage de compétences complexes, comme la méniscectomie partielle arthroscopique, quand une procédure plus basique, comme l'arthroscopie diagnostique, n'en nécessite que deux [32]. Enfin, Gustafsson et al., pensent que les apprenants ont chacun leurs propre vitesse et courbe d'apprentissage et que le temps nécessaire pour atteindre un plateau de performance est variable selon la complexité de l'habileté à acquérir [66]. Nous avons pour notre part fixé arbitrairement depuis notre expérience et pour des raisons logistiques, le nombre d'itérations et la durée les séparant.

Certains auteurs ont fait le choix de former des apprenants en 6ème année de médecine, précédant l'internat de chirurgie, afin de fournir un bagage technique et faciliter la transition des niveaux [38,67]. C'est aussi en ce sens que nous avons inclus des externes dans notre étude. Cependant, nous n'avons pas été en mesure de mettre en évidence de différence significative dans leur sous-groupe, sans doute expliqué par leur faible effectif, et la forte hétérogénéité de niveau (n=6). En témoigne la forte dispersion des résultats du sous-groupe « Externe » pour le score OSATS dans le module « Olécrane » (68,0% ± 28,4, vs 65,9% ± 26,4). Un manque de compétences de base, une inexpérience dans la sollicitation des aides opératoires, ainsi qu'un moindre investissement peuvent également en être la cause. Cela a pu avoir une répercussion négative sur les résultats de la cohorte totale.

4.2.2 Évaluation des habiletés techniques (OSATS)

La comparaison des données issues des études analysant la simulation est difficile par l'hétérogénéité des variables et des échelles d'évaluations [32]. Les habiletés techniques sur sujets anatomiques sont habituellement évaluées à l'aide de mesures métriques, parfois à l'aide d'algorithmes, notamment en simulation arthroscopique (analyse du mouvement et des distances des instruments), mais la traumatologie à foyer ouvert s'y prête moins [25,31,68].

Le score OSATS est un score objectif dont la validité a été établi à plusieurs reprises [13,49,50,69–71]. D'autres préfèrent une approche globale avec le score le GRS (Global Rating Scale) [13,14,31,58,72,73] ou le score ASSET (Arthroscopic skill evaluation tool) [32,33,35,74]. Szalay et al., ont fait un choix différent en analysant, non pas les habiletés techniques per-opératoire, mais plutôt le « produit final », argumentant qu'une gamme de compétences ou de techniques pouvait aboutir à un même résultat [75]. C'est en ce sens que nous avons souhaité compléter notre évaluation en réalisant une analyse radiologique finale, ne tenant pas directement compte des temps chirurgicaux successifs.

Malgré l'utilisation des principes fondamentaux, le score OSATS laisse une certaine liberté dans son élaboration. Nous nous sommes ainsi appuyés sur les référentiels de « l'AO Trauma » ainsi qu'un référent national de traumatologie afin de l'optimiser sur les points critiques de l'ostéosynthèse. Nous nous sommes également inspirés du score OSATS évaluant l'ostéosynthèse par plaque et vis d'un radius, issue du travail d'Egol et al. [13].

L'analyse en aveugle a permis de fiabiliser l'objectivité du score, mais le fait que celle-ci soit réalisée par un seul examinateur a pu engendrer un biais d'évaluation. Pour des raisons logistiques, nous n'avons pas été en mesure d'estimer la cohérence inter-évaluateur de façon formelle : nous observons néanmoins une faible différence de la double évaluation des scores OSATS. Nous avons fait le choix d'une évaluation per-opératoire, l'évaluateur pouvant se déplacer autour de l'apprenant et analyser précisément toutes les étapes, quand d'autres ont pu préférer des enregistrements vidéo avec analyse post-opératoire [13,14,32–35,73].

4.2.3 Évaluation radiologique

La littérature ne décrit pas de score radiologique analysant la qualité d'une ostéosynthèse. Nous avons élaboré conjointement avec un radiologue spécialisé en ostéoarticulaire, ainsi qu'avec les recommandations de « l'AO Trauma », un score simple permettant d'évaluer la qualité de celle-ci à l'aide de mesures métriques. D'autres auteurs ont ainsi utilisé des scores radiologiques spécifiques : Naroura et al., à l'aide de variables qualitatives, ont analysé la transposition des compétences pour la réalisation d'une ostéotomie d'accourcissement de radius [64], Saur et al. ont effectué une évaluation radiologique à l'aide de la classification de Gertzbein, pour évaluer l'empiétement canalaire, spécifique au rachis [52].

Malgré l'absence d'estimation de la cohérence inter-évaluateur, le fait que l'évaluation radiologique ait été en aveugle, composée de mesures métriques et analysée à l'aide d'un logiciel informatique, avait pour but de rendre celui-ci objectif et précis (Figures supplémentaire 5 et 6).

Il existait ainsi une corrélation positive forte ($\rho = 0,517$) et significative ($p= 0,040$) entre les scores OSATS et radiologiques, laissant supposer que les scores OSATS et radiologiques variaient tous deux dans le même sens pour le module « Olécrane ». La corrélation, bien que positive ($\rho = 0,482$), n'était pas significative ($p=0,058$) entre les deux scores pour le module « Humérus », pouvant illustrer la difficulté de ces évaluations.

4.2.4 Validité et forces de notre étude

La force de notre étude réside en son design prospectif, randomisé, multicentrique, avec une évaluation objective procédurale et radiologique en aveugle.

L'utilisation d'os synthétiques comme modèle de simulation basse fidélité a été confortée par la littérature, apportant la preuve de son efficacité dans la progression des compétences chirurgicales [11,13,52,58]. Leur avantage était d'avoir un retour haptique réel et non simulé permettant de se familiariser avec les instruments chirurgicaux. La taille, les repères anatomiques et l'épaisseur corticale ont fait d'eux des os comparables à l'os réel [76]. Leblanc et al., ainsi que Brydges et al., rapportent des niveaux de fidélités plus élevés et plus rentables que les simulateurs virtuels, pour l'ostéosynthèse d'Ulna [59,77].

Le matériel chirurgical, les aides opératoires mis à disposition, ainsi que l'usage innovant de guides de coupe sur-mesure lors de l'évaluation, avaient pour objectif d'optimiser la comparabilité entre les apprenants, tout en se rapprochant le plus possible d'une situation opératoire réelle. La mise à disposition pour l'évaluation finale de sujets anatomiques, s'apparentant le plus à la réalité, renforce la validité de notre étude. D'autres auteurs ont également évalué la transposition des compétences sur ces modèles, après assimilation des principes fondamentaux sur modèle basse fidélité [36,52,53,64]. Cette progression graduelle en termes de fidélité pourrait s'intégrer au programme national d'apprentissage des habiletés techniques.

L'auto-questionnaire valide ce schéma d'apprentissage, avec un taux de satisfaction de 100%, rejoignant ainsi les résultats de Saur et al. [52]. La conclusion des encadrants, estimant qu'il faille généraliser ce type d'apprentissage, semble rejoindre celle des internes de l'étude de Bottet et al., où 93% d'entre eux jugent l'intégration de l'enseignement par la simulation indispensable [49].

4.2.5 Limites de notre étude

Le faible effectif de notre cohorte (n=16) est comparable aux études évaluant la transposition des compétences [32,33,36,50,53,78], la principale contrainte étant logistique : ces études nécessitent un nombre important de sujets anatomiques, ainsi qu'un grand nombre d'encadrants (10 et 16 respectivement dans notre étude).

La contrainte de temps pour la réalisation des modules, a pu aussi avoir un impact sur nos résultats, induisant une anxiété délétère lors de l'évaluation. Bommer et al., rapportent d'ailleurs une amélioration des performance par une réduction de l'anxiété et une mise en confiance, après formation par simulation [79]. Szalay et al. rappellent que la rapidité à effectuer une habileté technique, en chirurgie générale, n'est pas plus importante que le produit final [75]. Cannon et al., ont même mis en évidence un temps de réalisation plus rapide dans le groupe « Contrôle », attribué à une moindre minutie des habiletés [34]. Pour cette raison, nous avons fait le choix de ne pas faire du temps un objectif d'évaluation à part entière, imposant un temps limite souvent atteint, de 20 minutes, comme dans l'étude d'Egol et al [13].

L'une des limites de notre étude a aussi pu être l'apprentissage en parallèle, au bloc opératoire, du groupe « Contrôle » qui a pu se familiariser avec les procédures. L'étude a ainsi été débutée précocement avec deux itérations espacées de six semaines. C'est également pour réduire ce biais que nous avons inclus des apprenants de 6ème année.

Les apprenants et encadrants ont souligné que malgré la présence d'un aide opératoire et la disposition de matériel fidèle aux conditions réelles, l'absence de contre appui, de table à bras ou de hauteur de table ajustable a pu léser certains apprenants dans leur installation.

4.3 PERSPECTIVES

Concernant le processus pédagogique à adopter, d'autres études devraient être menées afin de déterminer le nombre de séances optimales et la durée les séparant.

Au-delà de la significativité de nos résultats en termes de transposition, une interrogation persiste concernant la pérennité des acquis, Dunn et al., ont ainsi mis en évidence qu'après un an, le gain de la formation des internes sur simulateur d'arthroscopie avait été effacé [33]. Howells et al., montrent une perte dès 6 mois, tandis que Egol et al., montrent un maintien des acquis au bout de cette même durée [13,68]. Notre étude n'a pas étudié ce point, l'évaluation étant unique, et à 6 semaines de la dernière itération. Il serait pertinent de réévaluer les apprenants 6 mois à 1 an après la dernière itération.

Un travail complémentaire pourrait également être réalisé pour exporter nos résultats sur différents modules pour maitriser les fondamentaux de la discipline en traumatologie. Nos résultats autour du module « Humérus » semblent évoquer qu'une stratégie raisonnable serait une progression graduelle en termes de fidélité de modèle de simulation et de complexité de compétences, comme le suggère Brydges et al. [77].

5 CONCLUSION

Cette étude apporte la preuve de la validité du transfert de compétences pour l'acquisition d'habiletés chirurgicales simples, comme le brochage-haubanage d'olécrane, chez les internes de chirurgie, et ceci malgré un faible effectif d'apprenants. Des compétences chirurgicales plus complexes, comme l'ostéosynthèse de fracture oblique de diaphyse d'humérus, nécessiteraient un modèle de fidélité plus important, notamment par l'association de structures environnantes et de parties molles aux os synthétiques.

L'absence de différence significative dans le module « Humérus » suppose que ces structures sont d'une importance capitale dans l'apprentissage d'habiletés spécifiques telles que l'utilisation d'écarteurs, la gestion de la réduction d'une fracture par un abord chirurgical ou la sollicitation d'un aide opératoire.

Avec l'utilisation d'un score objectif per-opératoire ainsi qu'une évaluation finale radiologique sur sujets anatomiques, nous avons démontré que la chirurgie traumatologique se prêtait parfaitement à la formation par simulation, avec des modalités différentes selon la complexité du module et le niveau de l'apprenant. Une interrogation persiste concernant la pérennité des acquis qui reste à confirmer par de futurs travaux.

Cette étude fournit des preuves supplémentaires du rôle positif de la simulation BF sur os synthétiques en traumatologie, et justifie sa mise en place ainsi que son financement dans la maquette de formation des internes de chirurgie orthopédique et traumatologique.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] Granry JC, Moll MC (2012) Rapport de mission : État de l'art (national et international) en matière de pratiques de simulation dans le domaine de la santé. Haute Autorité de santé. n.d.

[2] ABOS Surgical Skills Modules for PGY-1 Residents | ABOS n.d. https://www.abos.org/residents/residency-skills-modules/abos-surgical-skills-modules-for-pgy-1-residents/

[3] Arrêté du 21 avril 2017 relatif aux connaissances, aux compétences et aux maquettes de formation des diplômes d'études spécialisées et fixant la liste de ces diplômes et des options et formations spécialisées transversales du troisième cycle des études de médecine - Légifrance. n.d.

[4] Arrêté du 12 avril 2017 portant organisation du troisième cycle des études de médecine - Légifrance. n.d.

[5] Bae DS, Lynch H, Jamieson K, Yu-Moe CW, Roussin C. Improved Safety and Cost Savings from Reductions in Cast-Saw Burns After Simulation-Based Education for Orthopaedic Surgery Residents. J Bone Jt Surg 2017;99:e94. https://doi.org/10.2106/JBJS.17.00199.

[6] Cohen ER, Feinglass J, Barsuk JH, Barnard C, O'Donnell A, McGaghie WC, et al. Cost Savings From Reduced Catheter-Related Bloodstream Infection After Simulation-Based Education for Residents in a Medical Intensive Care Unit. Simul Healthc J Soc Simul Healthc 2010;5:98–102. https://doi.org/10.1097/SIH.0b013e3181bc8304.

[7] Gupta R, Moore JM, Adeeb N, Griessenauer CJ, Schneider AM, Gandhi CD, et al. Neurosurgical Resident Error: A Survey of U.S. Neurosurgery Residency Training Program Directors' Perceptions. World Neurosurg 2018;109:e563–70. https://doi.org/10.1016/j.wneu.2017.10.022.

[8] Seymour NE, Gallagher AG, Roman SA, O'Brien MK, Bansal VK, Andersen DK, et al. Virtual Reality Training Improves Operating Room Performance: Results of a Randomized, Double-Blinded Study. Ann Surg 2002;236:458–64. https://doi.org/10.1097/00000658-200210000-00008.

[9] Levraut J, Fournier J-P. Jamais la première fois sur le patient ! Ann Fr Médecine Urgence 2012;2:361–3. https://doi.org/10.1007/s13341-012-0259-9.

[10] Grober ED, Hamstra SJ, Wanzel KR, Reznick RK, Matsumoto ED, Sidhu RS, et al. The Educational Impact of Bench Model Fidelity on the Acquisition of Technical Skill: The Use of Clinically Relevant Outcome Measures. Ann Surg 2004;240:374–81. https://doi.org/10.1097/01.sla.0000133346.07434.30.

[11] Ruder JA, Turvey B, Hsu JR, Scannell BP. Effectiveness of a Low-Cost Drilling Module in Orthopaedic Surgical Simulation. J Surg Educ 2017;74:471–6. https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2016.10.010.

[12] Stirling ER, Lewis TL, Ferran NA. Surgical skills simulation in trauma and orthopaedic training. J Orthop Surg 2014;9:126. https://doi.org/10.1186/s13018-014-0126-z.

[13] Egol KA, Phillips D, Vongbandith T, Szyld D, Strauss EJ. Do orthopaedic fracture skills courses improve resident performance? Injury 2015;46:547–51. https://doi.org/10.1016/j.injury.2014.10.061.

[14] Tanner G, Vojdani S, Komatsu DE, Barsi JM. Development of a Saw Bones Model for training pedicle screw placement in scoliosis. BMC Res Notes 2017;10:678. https://doi.org/10.1186/s13104-017-3029-3.

[15] Danion J, Breque C, Oriot D, Faure JP, Richer JP. SimLife® technology in surgical training – a dynamic simulation model. J Visc Surg 2020;157:S117–22. https://doi.org/10.1016/j.jviscsurg.2020.02.013.

[16] Delpech P, Barrou B, Badet L, Boleslawski E, Richer J, Faure J, et al. Enseignement des procédures chirurgicales au prélèvement multi-organe sur SimLife. Prog En Urol 2017;27:744–5. https://doi.org/10.1016/j.purol.2017.07.136.

[17] Bhattacharyya R, Sugand K, Al-Obaidi B, Sinha I, Bhattacharya R, Gupte CM. Trauma simulation training: a randomized controlled trial -evaluating the effectiveness of the Imperial Femoral Intramedullary Nailing Cognitive Task Analysis (IFINCTA) tool. Acta Orthop 2018;89:689–95. https://doi.org/10.1080/17453674.2018.1517442.

[18] Bissonnette V, Mirchi N, Ledwos N, Alsidieri G, Winkler-Schwartz A, Del Maestro RF. Artificial Intelligence Distinguishes Surgical Training Levels in a Virtual Reality Spinal Task. J Bone Joint Surg Am 2019;101:e127. https://doi.org/10.2106/JBJS.18.01197.

[19] Blumstein G, Zukotynski B, Cevallos N, Ishmael C, Zoller S, Burke Z, et al. Randomized Trial of a Virtual Reality Tool to Teach Surgical Technique for Tibial Shaft Fracture Intramedullary Nailing. J Surg Educ 2020;77:969–77. https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2020.01.002.

[20] Matsumoto ED, Hamstra SJ, Radomski SB, Cusimano MD. The effect of bench model fidelity on endourological skills: a randomized controlled study. J Urol 2002;167:1243–7. https://doi.org/10.1016/S0022-5347(05)65274-3.

[21] Barussaud M-L, Roussel B, Meurette G, Sulpice L, Meunier B, Regenet N, et al. French intensive training course in laparoscopic surgery (HUGOFirst) on live porcine models: Validation of a performance assessment scale and residents' satisfaction in a prospective study. J Visc Surg 2016;153:15–9. https://doi.org/10.1016/j.jviscsurg.2015.10.005.

[22] Scott DJ, Bergen PC, Rege RV, Laycock R, Tesfay ST, Valentine JR, et al. Laparoscopic training on bench models: better and more cost effective than operating room experience?1. J Am Coll Surg 2000;191:272–83. https://doi.org/10.1016/S1072-7515(00)00339-2.

[23] Siddighi S, Kleeman SD, Baggish MS, Rooney CM, Pauls RN, Karram MM. Effects of an Educational Workshop on Performance of Fourth-Degree Perineal Laceration Repair: Obstet Gynecol 2007;109:289–94. https://doi.org/10.1097/01.AOG.0000251499.18394.9f.

[24] Nugent E, Joyce C, Perez-Abadia G, Frank J, Sauerbier M, Neary P, et al. Factors influencing microsurgical skill acquisition during a dedicated training course. Microsurgery 2012;32:649–56. https://doi.org/10.1002/micr.22047.

[25] Tronchot A, Berthelemy J, Thomazeau H, Huaulmé A, Walbron P, Sirveaux F, et al. Validation of virtual reality arthroscopy simulator relevance in characterising experienced surgeons. Orthop Traumatol - Surg Res 2021:103079. https://doi.org/10.1016/j.otsr.2021.103079.

[26] Coughlin RP, Pauyo T, Sutton JC, Coughlin LP, Bergeron SG. A Validated Orthopaedic Surgical Simulation Model for Training and Evaluation of Basic Arthroscopic Skills: J Bone Jt Surg-Am Vol 2015;97:1465–71. https://doi.org/10.2106/JBJS.N.01140.

[27] Isaac S, Sinagra Z, Pineda A, Grainger N, Hurworth M. Comparing porcine models and sawbones as a training tool for complex arthroscopic knee surgery. Int J Orthop Sci 2018;4:644–8. https://doi.org/10.22271/ortho.2018.v4.i4h.77.

[28] Walbron P, Common H, Thomazeau H, Sirveaux F. Evaluation of arthroscopic skills with a virtual reality simulator in first-year orthopaedic residents. Int Orthop 2020;44:821–7. https://doi.org/10.1007/s00264-020-04520-1.

[29] Walbron P, Common H, Thomazeau H, Hosseini K, Peduzzi L, Bulaid Y, et al. Intérêt du simulateur d'arthroscopie par réalité virtuelle dans l'acquisition des compétences de base en arthroscopie chez les jeunes internes d'orthopédie. Rev Chir Orthopédique Traumatol 2020;106:399–406. https://doi.org/10.1016/j.rcot.2020.03.030.

[30] Dammerer D, Putzer D, Wurm A, Liebensteiner M, Nogler M, Krismer M. Progress in Knee Arthroscopy Skills of Residents and Medical Students: A Prospective Assessment of Simulator Exercises and Analysis of Learning Curves. J Surg Educ 2018;75:1643–9. https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2018.05.002.

[31] Howells NR, Gill HS, Carr AJ, Price AJ, Rees JL. Transferring simulated arthroscopic skills to the operating theatre: A randomised blinded study. J Bone Joint Surg Br 2008;90-B:494–9. https://doi.org/10.1302/0301-620X.90B4.20414.

[32] Ledermann G, Rodrigo A, Besa P, Irarrázaval S. Orthopaedic Residents' Transfer of Knee Arthroscopic Abilities from the Simulator to the Operating Room: J Am Acad Orthop Surg 2020;28:194–9. https://doi.org/10.5435/JAAOS-D-19-00245.

[33] Dunn JC, Belmont PJ, Lanzi J, Martin K, Bader J, Owens B, et al. Arthroscopic Shoulder Surgical Simulation Training Curriculum: Transfer Reliability and Maintenance of Skill Over Time. J Surg Educ 2015;72:1118–23. https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2015.06.021.

[34] Cannon WD, Garrett WE, Hunter RE, Sweeney HJ, Eckhoff DG, Nicandri GT, et al. Improving Residency Training in Arthroscopic Knee Surgery with Use of a Virtual-Reality Simulator: A Randomized Blinded Study. J Bone Jt Surg-Am Vol 2014;96:1798–806. https://doi.org/10.2106/JBJS.N.00058.

[35] Waterman BR, Martin KD, Cameron KL, Owens BD, Belmont PJ. Simulation Training Improves Surgical Proficiency and Safety During Diagnostic Shoulder Arthroscopy Performed by Residents. Orthopedics 2016;39. https://doi.org/10.3928/01477447-20160427-02.

[36] Rebolledo BJ, Hammann-Scala J, Leali A, Ranawat AS. Arthroscopy Skills Development With a Surgical Simulator: A Comparative Study in Orthopaedic Surgery Residents. Am J Sports Med 2015;43:1526–9. https://doi.org/10.1177/0363546515574064.

[37] Walbron P, Thomazeau H, Sirveaux F. Virtual reality simulation“ in der Orthopädie und Unfallchirurgie in Frankreich: Aktueller Stand und Ausblick. Unfallchirurg 2019;122:439–43. https://doi.org/10.1007/s00113-019-0649-1.

[38] Long SA, Thomas G, Karam MD, Anderson DD. Do Skills Acquired from Training with a Wire Navigation Simulator Transfer to a Mock Operating Room Environment? Clin Orthop 2019;477:2189–98. https://doi.org/10.1097/CORR.0000000000000799.

[39] Clement H, Heidari N, Grechenig W, Weinberg AM, Pichler W. Drilling, not a benign procedure: Laboratory simulation of true drilling depth. Injury 2012;43:950–2. https://doi.org/10.1016/j.injury.2011.11.017.

[40] Apivatthakakul T, Patiyasikan S, Luevitoonvechkit S. Danger zone for locking screw placement in minimally invasive plate osteosynthesis (MIPO) of humeral shaft fractures: A cadaveric study. Injury 2010;41:169–72. https://doi.org/10.1016/j.injury.2009.08.002.

[41] Lo IKY, Burkhart SS, Parten PM. Surgery about the coracoid: neurovascular structures at risk. Arthrosc J Arthrosc Relat Surg 2004;20:591–5. https://doi.org/10.1016/j.arthro.2004.04.060.

[42] Grimaldi M, Courvoisier A, Tonetti J, Vouaillat H, Merloz P. Superficial femoral artery injury resulting from intertrochanteric hip fracture fixation by a locked intramedullary nail. Orthop Traumatol Surg Res 2009;95:380–2. https://doi.org/10.1016/j.otsr.2009.04.014.

[43] Safar HA, Farid E, Nakhi H, Asfar S. Vascular Injuries Caused by Orthopaedic Screws. Med Princ Pract 2004;13:230–3. https://doi.org/10.1159/000078321.

[44] Al-Rashid M, Theivendran K, Craigen MAC. Delayed ruptures of the extensor tendon secondary to the use of volar locking compression plates for distal radial fractures. J Bone Joint Surg Br 2006;88-B:1610–2. https://doi.org/10.1302/0301-620X.88B12.17696.

[45] Watanabe K, Yamazaki A, Hirano T, Izumi T, Sano A, Morita O, et al. Descending Aortic Injury by a Thoracic Pedicle Screw During Posterior Reconstructive Surgery: A Case Report. Spine 2010;35:E1064–8. https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e3181ed29c1.

[46] Foxx KC, Kwak RC, Latzman JM, Samadani U. A retrospective analysis of pedicle screws in contact with the great vessels. J Neurosurg Spine 2010;13:403–6. https://doi.org/10.3171/2010.3.SPINE09657.

[47] Prayson MJ, Iossi MF, Buchalter D, Vogt M, Towers J. Safe zone for anterior cortical perforation of the ulna during tension-band wire fixation: A magnetic resonance imaging analysis. J Shoulder Elbow Surg 2008;17:121–5. https://doi.org/10.1016/j.jse.2007.04.010.

[48] Leong JJH, Leff DR, Das A, Aggarwal R, Reilly P, Atkinson HDE, et al. Validation of orthopaedic bench models for trauma surgery. J Bone Joint Surg Br 2008;90-B:958–65. https://doi.org/10.1302/0301-620X.90B7.20230.

[49] Bottet B, Selim J, Peillon C, Baste J-M, Schwarz L, Renaux-Petel M, et al. Évaluation objective structurée des habiletés techniques des internes de chirurgie en phase socle. Expérience monocentrique portant sur trois cohortes au *Medical Training Center* de Rouen. Pédagogie Médicale 2019;20:163–75. https://doi.org/10.1051/pmed/2020022.

[50] de Troyer J, Amabile P, Berdah S, Bladou F, Karsenty G. Évaluation préliminaire de l'impact d'un stage pilote d'initiation à la gestuelle chirurgicale sur l'acquisition des habiletés techniques de base par les internes de chirurgie de premier semestre. Pédagogie Médicale 2009;10:95–104. https://doi.org/10.1051/pmed/20080359.

[51] Sirisena R, Lahiri A, Chong AK-S, Foo T-L. Surmounting the Learning Curve of Core Suture Placement with Tendon Repair Simulator. J Hand Surg Asian-Pac Vol 2018;23:217–20. https://doi.org/10.1142/S2424835518500236.

[52] Saur M, Guillard B, Collinet A, Schmitz A, Sauleau EA, Clavert P, et al. Simulation on synthetic bone: A tool for teaching thoracolumbar pedicle screw placement. Orthop Traumatol Surg Res 2021:103056. https://doi.org/10.1016/j.otsr.2021.103056.

[53] Kotler J, Sanville J, Greer J, Smith C. High-Fidelity Orthopaedic Surgical Skills Models and Resident Performance in the Surgical Treatment of Tibial Plateau Fractures. J Surg Orthop Adv 2022;31:109–12.

[54] Granry JC, Moll M-C. (2012) Guide de bonnes pratiques en matière de simulation en santé. Haute Autorité de santé. n.d.

[55] Martin JA, Regehr G, Reznick R, Macrae H, Murnaghan J, Hutchison C, et al. Objective structured assessment of technical skill (OSATS) for surgical residents. Br J Surg 1997;84:273–8. https://doi.org/10.1046/j.1365-2168.1997.02502.x.

[56] Reznick R, Regehr G, MacRae H, Martin J, McCulloch W. Testing technical skill via an innovative "bench station" examination. Am J Surg 1997;173:226–30. https://doi.org/10.1016/S0002-9610(97)89597-9.

[57] Anderson DD, Long S, Thomas GW, Putnam MD, Bechtold JE, Karam MD. Objective Structured Assessments of Technical Skills (OSATS) Does Not Assess the Quality of the Surgical Result Effectively. Clin Orthop 2016;474:874–81. https://doi.org/10.1007/s11999-015-4603-4.

[58] Sonnadara RR, Van Vliet A, Safir O, Alman B, Ferguson P, Kraemer W, et al. Orthopedic boot camp: Examining the effectiveness of an intensive surgical skills course. Surgery 2011;149:745–9. https://doi.org/10.1016/j.surg.2010.11.011.

[59] LeBlanc J, Hutchison C, Hu Y, Donnon T. Feasibility and fidelity of practising surgical fixation on a virtual ulna bone. Can J Surg 2013;56:E91–7. https://doi.org/10.1503/cjs.010912.

[60] Sys G, Eykens H, Lenaerts G, Shumelinsky F, Robbrecht C, Poffyn B. Accuracy assessment of surgical planning and three-dimensional-printed patient-specific guides for orthopaedic osteotomies. Proc Inst Mech Eng [H] 2017;231:499–508. https://doi.org/10.1177/0954411917702177.

[61] Beşer CG, Demiryürek D, Özsoy H, Erçakmak B, Hayran M, Kızılay O, et al. Redefining the proximal ulna anatomy. Surg Radiol Anat 2014;36:1023–31. https://doi.org/10.1007/s00276-014-1340-4.

[62] Rowland SA, Burkhart SS. Tension band wiring of olecranon fractures. A modification of the AO technique. Clin Orthop 1992:238–42.

[63] Ling M, Zhan S, Jiang D, Hu H, Zhang C. Where should Kirschner wires be placed when fixing patella fracture with modified tension-band wiring? A finite element analysis. J Orthop Surg 2019;14:14. https://doi.org/10.1186/s13018-019-1060-x.

[64] Naroura I, Hidalgo Diaz JJ, Xavier F, Baldairon F, Favreau H, Clavert P, et al. Teaching of distal radius shortening osteotomy: three-dimensional procedural simulator versus bone procedural simulator. J Hand Surg Eur Vol 2018;43:961–6. https://doi.org/10.1177/1753193417754179.

[65] Hackl M, Damerow D, Leschinger T, Scaal M, Müller LP, Wegmann K. Radial nerve location at the posterior aspect of the humerus: an anatomic study of 100 specimens. Arch Orthop Trauma Surg 2015;135:1527–32. https://doi.org/10.1007/s00402-015-2300-0.

[66] Gustafsson A, Pedersen P, Rømer TB, Viberg B, Palm H, Konge L. Hip-fracture osteosynthesis training: exploring learning curves and setting proficiency standards. Acta Orthop 2019;90:348–53. https://doi.org/10.1080/17453674.2019.1607111.

[67] Sinha SN, Page W. Interns' Day in Surgery: improving intern performance through a simulation-based course for final year medical students: Interns' day in surgery. ANZ J Surg 2015;85:27–32. https://doi.org/10.1111/ans.12665.

[68] Howells N, Auplish S, Hand G, Gill H, Carr A, Rees J. Retention of Arthroscopic Shoulder Skills Learned with Use of a Simulator: Demonstration of a Learning Curve and Loss of Performance Level After a Time Delay. J Bone Jt Surg-Am Vol 2009;91:1207–13. https://doi.org/10.2106/JBJS.H.00509.

[69] Noordin S, Allana S. OSATS for total knee replacement: assessment of surgical competence in the operating room. J Pak Med Assoc 2015:4.

[70] Cafarelli L. Anterior plating technique for distal radius: comparing performance after learning through naive versus deliberate practice | SpringerLink n.d.

[71] MacRae H, Regehr G, Leadbetter W, Reznick RK. A comprehensive examination for senior surgical residents. Am J Surg 2000;179:190–3. https://doi.org/10.1016/S0002-9610(00)00304-4.

[72] Atesok K, Mabrey JD, Jazrawi LM, Egol KA. Surgical Simulation in Orthopaedic Skills Training. J Am Acad Orthop Surg 2012;20:410–22. https://doi.org/10.5435/JAAOS-20-07-410.

[73] Alvand A, Logishetty K, Middleton R, Khan T, Jackson WFM, Price AJ, et al. Validating a Global Rating Scale to Monitor Individual Resident Learning Curves During Arthroscopic Knee Meniscal Repair. Arthrosc J Arthrosc Relat Surg 2013;29:906–12. https://doi.org/10.1016/j.arthro.2013.01.026.

[74] Koehler RJ, Amsdell S, Arendt EA, Bisson LJ, Bramen JP, Butler A, et al. The Arthroscopic Surgical Skill Evaluation Tool (ASSET). Am J Sports Med 2013;41:1229–37. https://doi.org/10.1177/0363546513483535.

[75] Szalay D, MacRae H, Regehr G, Reznick R. Using operative outcome to assess technical skill. Am J Surg 2000;180:234–7. https://doi.org/10.1016/S0002-9610(00)00470-0.

[76] Hetaimish B. Sawbones laboratory in orthopedic surgical training. Saudi Med J 2016;37:348–53. https://doi.org/10.15537/smj.2016.4.13575.

[77] Brydges R, Carnahan H, Rose D, Rose L, Dubrowski A. Coordinating Progressive Levels of Simulation Fidelity to Maximize Educational Benefit: Acad Med 2010;85:806–12. https://doi.org/10.1097/ACM.0b013e3181d7aabd.

[78] Henn RF, Shah N, Warner JJP, Gomoll AH. Shoulder Arthroscopy Simulator Training Improves Shoulder Arthroscopy Performance in a Cadaveric Model. Arthrosc J Arthrosc Relat Surg 2013;29:982–5. https://doi.org/10.1016/j.arthro.2013.02.013.

[79] Bommer C, Sullivan S, Campbell K, Ahola Z, Agarwal S, O'Rourke A, et al. Pre-simulation orientation for medical trainees: An approach to decrease anxiety and improve confidence and performance. Am J Surg 2018;215:266–71. https://doi.org/10.1016/j.amjsurg.2017.09.038.

ANNEXES ET FIGURES SUPPLEMENTAIRES

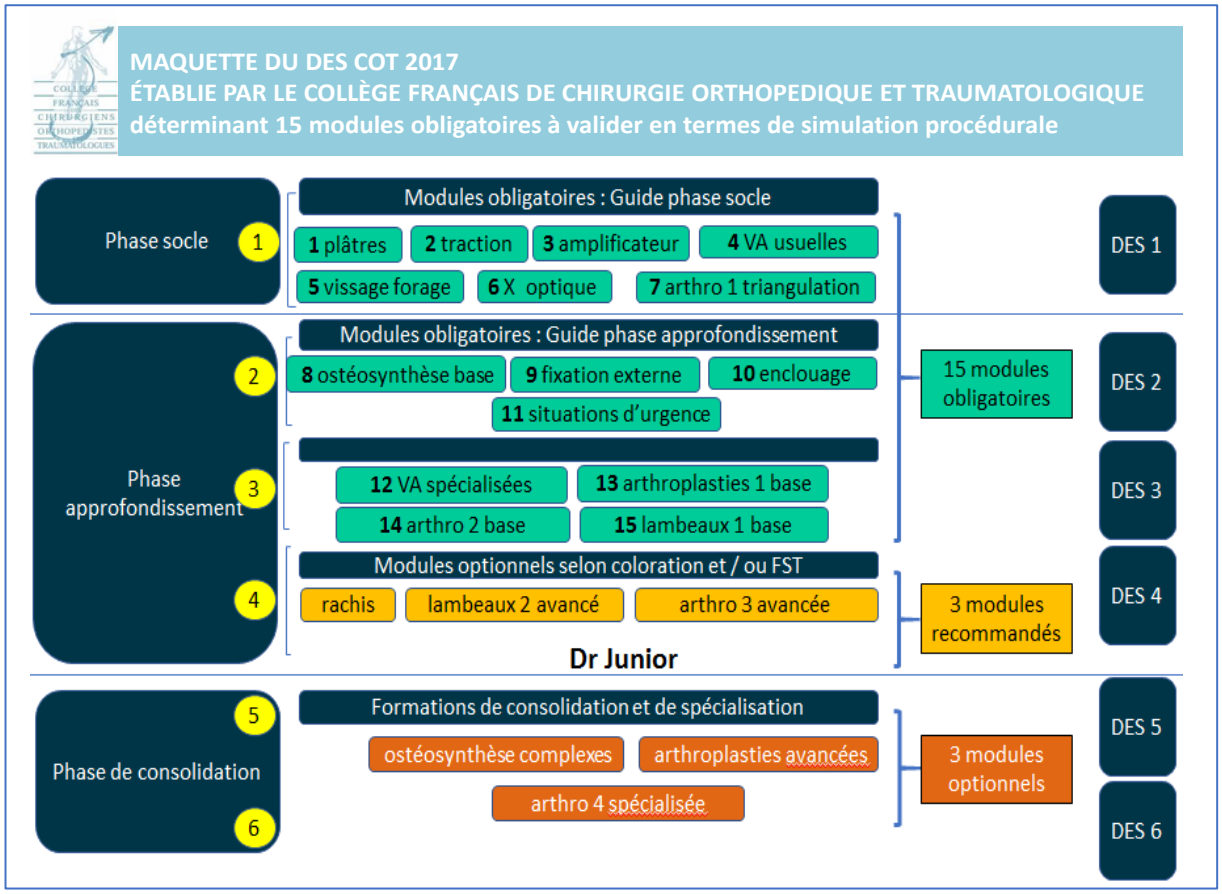

Figure supplémentaire 1 - Maquette du DES avec les 15 modules obligatoires

Figure supplémentaire 2 - Salle de Briefing

MODULE : FRACTURE OLECRANE / BROCHAGE HAUBANAGE

Nom Prénom :

Nom de l'évaluateur :

Date :

	Etape	Note (0 à 5)	
1	**Réduction de la fracture et maintien de celle-ci :** Critères de réduction satisfaisants Directement avec broche, avec pointe carrée ou avec davier pointe (possibilité de demander de l'aide pour maintenir la réduction).	… /5	
2	**Forage du tunnel :** Une mèche de 2,5 ou 2,7 doit être demandée (instrument ET taille)	… /5	
3	**Forage du tunnel** : Réalisation en 1 ou 2 fois. La mèche ne doit pas être tordue. Le geste doit être retenu. La localisation est à >de 4 cm du foyer de fracture. Les 2 trous doivent être à la même hauteur	… /5	
4	**Réalisation du Hauban :** Demander la bonne taille de fil métallique : entre 1,15 et 1,5. L'introduction se fait sans difficulté, en une fois.	… /5	
5	**Réalisation du brochage** : Demander la bonne taille de broche de Kirschner : 18	… /5	
6	**Réalisation du brochage** : La manipulation du moteur avec le mandrin adapté est aisée, et la broche est positionnée de manière ergonomique (ni trop proche de la pointe, ni trop loin)	… /5	… /5
7	**Réalisation du brochage** : Point d'entrée correct pour la broche (>1cm l'une de l'autre)	… /5	… /5
8	**Réalisation du brochage** : La broche reste intra médullaire et suffisamment longue (>11 cm)	… /5	… /5
9	**Réalisation du Hauban :** Passer le fil du hauban sous le tendon tricipital dans le sens ulno- radial évitant le nerf ulnaire	… /5	
10	**Réalisation du Hauban** : Réaliser un 8 avec le fil métallique en une fois.	… /5	
11	**Serrage du fil :** Réaliser le bon mouvement de traction dans l'axe du torillon de manière équilibrée (+/- avec 2 pinces adaptées). Les 2 fils s'entourent l'un et l'autre (et non l'un autour de l'autre)	… /5	
12	**Serrage du fil :** L'excèdent de fil est ensuite coupé à bonne distance (Environ 2 à 3 cm de l'embase) et la fin du torillon est continué avec 2 pinces adaptées, puis une seule pince jusqu'à tension suffisante. Si le fil métallique rompt : 0 L'excédent coupé doit être retenu.		
13	**Couper le torillon** : Demander la pince coupante. Couper le torillon à la bonne taille ; environ 1,5cm de l'embase. L'excédent coupé doit être retenu.	… /5	
14	**Recourber le torillon** : Recourber le torillon contre l'os pour éviter un conflit avec les parties molles à l'aide de 2 pinces. L'étape pouvant être complétée à l'aide d'un chasse greffon et d'un maillet	… /5	
15	**Recourber les broches** : Recourber les broches de Kirschner à l'aide de 2 pinces adaptées (+/- nez à broche accepté). Le recourbement doit avoir lieu vers sois et non vers le triceps d'emblée. L'angle doit être de 180° (+/- 20)	… /5	… /5
16	**Couper les broches :** Couper les broches au bon niveau : 5 mm environ après l'angle de recourbement. L'excédent coupé doit être retenu.	… /5	… /5
17	**Rotation des broches : Réaliser** une rotation de 180° des broches	… /5	… /5
18	**Enfouissement des broches** : Les enfouir dans le tendon tricipital à l'aide d'un chasse greffon et d'un maillet. Suffisamment profond après avoir effectué une encoche dans le triceps	… /5	

Durée de la procédure :	**Minutes.**

Débriefing : À la fin de l'exercice, l'évaluateur commentera l'exercice en énumérant les points à améliorer (sans révéler le barème de notation.) pour que l'interne progresse.

Figure supplémentaire 3 - Score OSATS "Olécrane"

MODULE : REDUCTION SYNTHESE DE DIAPHYSE PAR PLAQUE/ VIS

Nom Prénom : Date :
Nom de l'évaluateur :

		Étape	Note (0 à 5)
1		**Réduction de la fracture et maintien de celle-ci** : la réduction pourra être directement sur plaque.	.../5
2		**Mise en place de la plaque** : L'étudiant demande la « plaque LCP petit fragment » et le nombre de trou. Positionnement de la plaque de manière à voir 3 vis de part et d'autre du foyer de fracture	.../5
3	**Vis corticales**	**Forage :** l'étudiant demande « la mèche » ET le diamètre de celle-ci ET « pour vis cortical »	.../5
4		**Forage :** l'étudiant demande le « guide mèche » et effectue le forage du trou de vis sans contrainte sur le guide mèche ni avec l'os. Le trou doit être perpendiculaire à la plaque et à l'os dans les 2 plans	.../5
5		**Forage :** Compréhension et mise en application du guide mèche dans les différentes positions : Position neutre / dynamique. L'étudiant devra dire dans quelle position il met son guide mèche. (Le fait de demander n'enlève pas de points, sauf si cela induit un changement de position)	.../5
6		**Forage** : le geste est retenu, précis, et sans aller-retour brutal	.../5
7		**Mesure** : l'étudiant demande la « jauge de mesure » et effectue la mesure en une fois	.../5
8		**Vissage :** L'étudiant demande le « tournevis pour vis cortical ». Vissage dans l'axe du trou et de la vis, sans riper ni abimer le pas de vis, jusqu'à stabilité suffisante	.../5
9		**Compression de la plaque :** L'étudiant contrôle la compression et prends soins de retirer le davier lors de celle-ci si présence.	.../5
10	**Vis verrouillées**	**Forage :** l'étudiant demande le « canon pour vis verrouillée » et visse ce dernier dans la plaque. Il effectue le forage du trou de vis sans contrainte avec le canon	.../5
11		**Forage :** l'étudiant demande « la mèche » ET le diamètre de celle-ci ET « pour vis verrouillée »	.../5
12		**Forage** : le geste est retenu, précis, et sans aller-retour.	.../5
13		**Mesure** : La mesure est effectuée en amont et pendant le passage de la deuxième corticale.	.../5
14		**Vissage** : l'étudiant demande le « tournevis dynamométrique pour vis verrouillée » et le vissage est effectué dans l'axe du trou et de la vis, sans abimer le pas de vis, jusqu'à stabilité suffisante, jusqu'au verrouillage de la vis	.../5

Durée de la procédure :	**minutes.**

Débriefing : À la fin de l'exercice, l'évaluateur commentera l'exercice en énumérant les points à améliorer (sans révéler le barème de notation..) pour que l'interne progresse.

Figure supplémentaire 4 - Score OSATS 'Humérus"

MODULE : FRACTURE OLECRANE / BROCHAGE HAUBANAGE Numéro :

	Critère Radiographique d'une ostéosynthèse d'olécrane satisfaisante	Note : 0 à 5	
1	**Brochage :** longueur de broche - *>11 cm : 5 pts* - *11 – 10 : 3 pts* - *<10 cm : 0 pt*	Broche 1	Broche 2
2	**Brochage :** Intra médullaire et extra articulaire - *5 pts si les 2* - *0 pt si un seul*		
3	**Brochage :** suffisamment recourbé. - *<70° : 5 pts* - *<80° : 3 pts* - *>90° : 0 pt*	Broche 1	Broche 2
4	**Brochage :** Les broches recourbées dépassent - *< 8 mm : 5 pts* - *8 – 9 mm : 3 pts* - *>10 mm : 0 pt* *Si la pointe de la broche n'est pas retournée, en direction de l'olécrane : 0 pt*	Broche 1	Broche 2
5	**Hauban :** tunnel >4 cm du foyer de fracture - *>40 mm du foyer de fracture : 5 pts* - *40 – 35 du foyer : 3 pts* - *<30 mm du foyer : 0 pt*		
6	**Réduction de fracture :** - *Absence de marche d'escalier : 5 pts* - *Marche millimétrique : 3 pts* - *Marche >1 mm : 0 pt*		
7	**Réduction de fracture :** espace inter fragmentaire - *Invisible : 5 pts* - *< 1 mm : 4 pts* - *2 – 5 mm : 2 pts* - *> 5mm : 0 pt*		

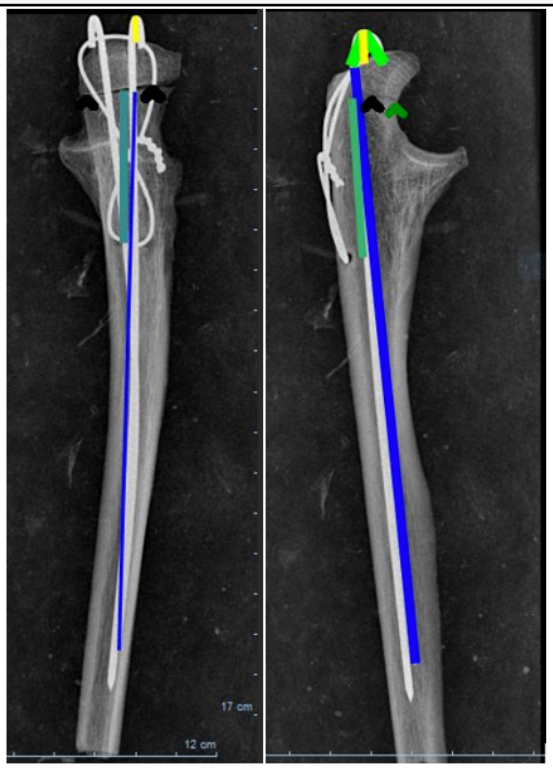

Figure supplémentaire 5 - Score Radiologique "Olécrane"

MODULE : REDUCTION SYNTHESE DE DIAPHYSE PAR PLAQUE/ VIS Numéro :

	Critère Radiographique d'une ostéosynthèse de diaphyse satisfaisante	Note : 0 à 5					
1	**Plaque :** La plaque est symétrique, (les 3 vis sont à équidistance du foyer de fracture sur l'incidence de face) - *Rapport 60mm/60mm : 5 pts* - *Rapport 65mm/55 mm : 4pts* - *Rapport >70/50 : 0pt*						
2	**Vis :** Les vis sont de longueurs adéquates - *Dépasse de 0 – 2mm : 5 pts* - *2 – 3 mm : 3 pts* - *>3 mm : 1 pts* - *Mono-corticale, <0mm : 0 pt*	Vis 1	Vis 2	Vis 3	Vis 4	Vis 5	Vis 6
3	**Vis** : les vis sont perpendiculaires à la plaque et parallèles les unes aux autres						
4	**Vis :** Il y a 3 vis de part et d'autre de la fracture - *6 vis et 3 vis de part et d'autre : 5pts* - *<6 vis ou asymétrie du nombre de vis : 0 pt*						
5	**Réduction de fracture :** - *Absence de marche d'escalier : 5pts* - *Marche millimétrique : 3 pts* - *Marche >1 mm : 0 pt*						
6	**Réduction de fracture :** espace inter fragmentaire - *Invisible : 5 pts* - *< 1mm : 4 pts* - *2 – 5 mm : 2 pts* - *>5mm : 0 pt*						

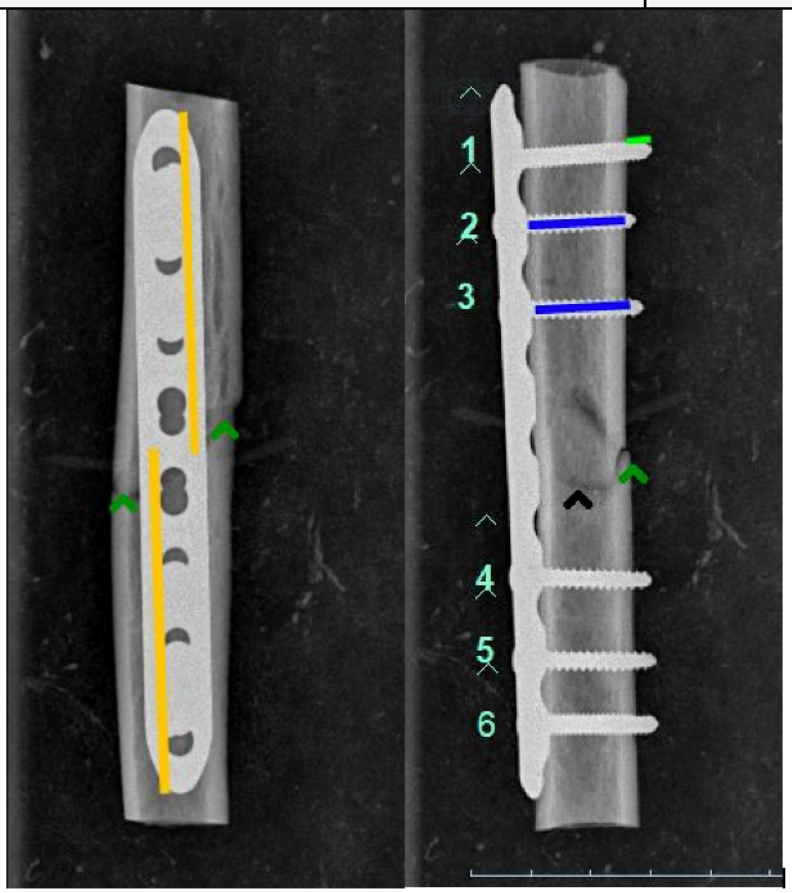

Figure supplémentaire 6 - Score Radiologique "Humérus"

Simulation procédurale

1. **Vous êtes ?**
- Un homme
- Une femme

2. **Vous êtes ?**
- Externe
- Interne

3. **Quel est votre âge ?**

4. **Quelle est votre subdivision d'origine ?**
- Angers
- Nantes
- Rennes

5. **Dans quel groupe étiez-vous ?**
- Groupe bénéficiant de la simulation sur os synthétique
- Groupe bénéficiant uniquement de la simulation sur sujet anatomique

6. **Auparavant, avez-vous déjà réalisé des ateliers de simulations procédurales ? (Hors BONESIM)**
- Oui
- Non

7. **Concernant les ateliers que vous avez effectués : Avez-vous auparavant déjà réalisé ces ateliers de simulations procédurales ? (Hors BONESIM)**
- Oui
- Non

8. **Concernant les ateliers que vous avez réalisés : Aviez-vous déjà vu ou assisté à ce type d'intervention au bloc opératoire ?**
- Oui
- Non

9. **Concernant les ateliers que vous avez réalisés : Aviez-vous déjà été opérateur au bloc opératoire a ce type d'intervention ?**
- Oui, en autonomie complète, sans senior
- Oui, du début à la fin, aidé d'un senior
- Oui, quelques étapes de la chirurgie
- Non

Simulation procédurale sur os synthétique

(Groupe bénéficiant de la simulation sur os synthétique)

10. **Appréciation globale : Évaluation globale des sessions sur os synthétique**
- Pas satisfait
- Peu satisfait
- Indifférent
- Satisfait
- Très satisfait

11. **Les séquences "Briefing / Démonstration / Exercice / Débriefing" dans leurs contenus, leurs enchainements et leurs durées vous ont elles semblées adaptées ?**
- Oui
- Plus ou moins
- Non

Simulation procédurale sur sujet anatomique

(Groupe bénéficiant de la simulation sur os synthétique)

12. **Estimez-vous que la formation sur os synthétique vous a été bénéfique avant d'aller sur le sujet anatomique ?**
- Oui
- Non

13. **Vous êtes-vous senti à l'aise sur les sujets anatomiques ?**
- Oui, complètement
- Oui, plutôt
- Plus ou moins
- Non, pas tellement
- Non, pas du tout

14. **Avez vous trouvé des similitudes entre les ateliers sur os synthétique et les ateliers sur sujet anatomique ?**
- Oui, complètement
- Oui, partiellement
- Plus ou moins
- Non pas tellement
- Non pas du tout

15. **Trouvez-vous une similitude entre les OS synthétiques et les OS de sujets cadavériques ?**
- Oui, complètement
- Oui, partiellement
- Plus ou moins
- Non, pas tellement
- Non pas du tout

16. **Les informations et conseils fournies par le formateur lors des sessions de simulations sur os synthétique sec vous ont-ils été utile pour l'exercice sur sujet anatomique ?**
- Oui, complètement
- Oui, partiellement
- Plus ou moins
- Non, pas tellement
- Non, pas du tout

17. **La manipulation des instruments et la dénomination de ces derniers lors des ateliers sur os synthétique vous ont-ils été utile pour la session sur sujet anatomique ?**
- Oui, complètement
- Oui, partiellement
- Plus ou moins,
- Non, pas tellement
- Non, pas du tout

18. **Pensez-vous qu'il faudrait généraliser ce type d'apprentissage sur os synthétique avant de le réaliser sur sujet anatomique ?**
- Oui
- Non
- NSP

19. **Combien d'itération sur os synthétique pensez-vous avoir besoin avant de vous sentir à l'aise sur une intervention avec sujet anatomique ?**

Simulation procédurale sur sujet anatomique

Groupe bénéficiant uniquement de la simulation sur sujet anatomique

20. **Vous êtes-vous senti à l'aise sur les sujets anatomiques ?**
- Oui, complètement
- Oui, partiellement
- Plus ou moins
- Non, pas tellement
- Non, pas du tout

21. **Auriez-vous trouvé utile de vous entrainer sur des os synthétiques avant de vous entrainer sur des sujets anatomiques ?**
- Oui, complètement
- Oui, plutôt
- Peut être
- Non, pas tellement
- Non, pas du tout

22. **Une seule occurrence de la séquence " briefing / démonstration/ Exercice et Débriefing " sur sujet anatomique vous semble-t-elle suffisante pour maîtriser la technique opératoire ?**
- Oui
- Non

Figure supplémentaire 7 - Auto-questionnaire concernant la formation

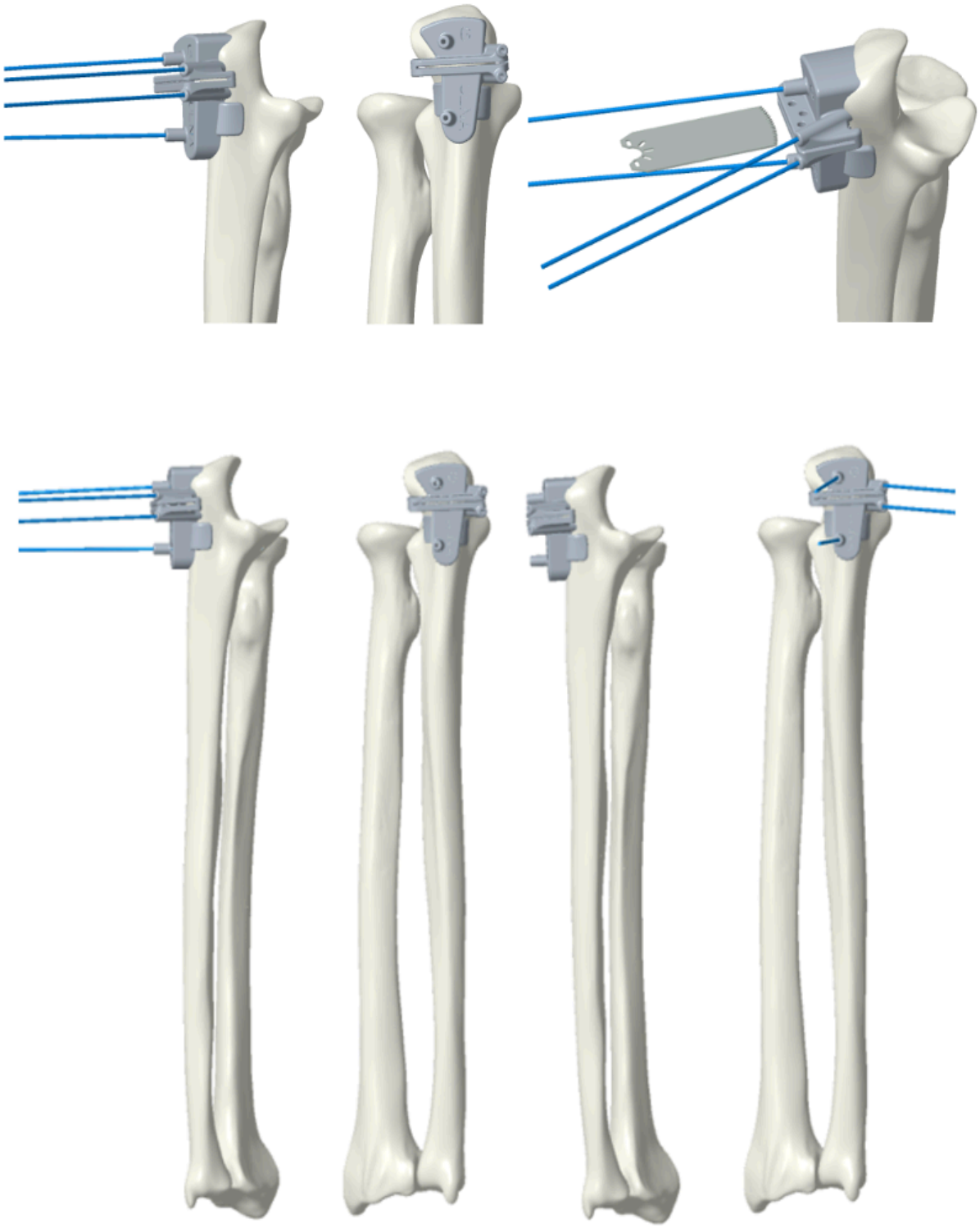

Figure supplémentaire 8 - Rendu graphique en modélisation 3D d'un guide de coupe d'olécrane

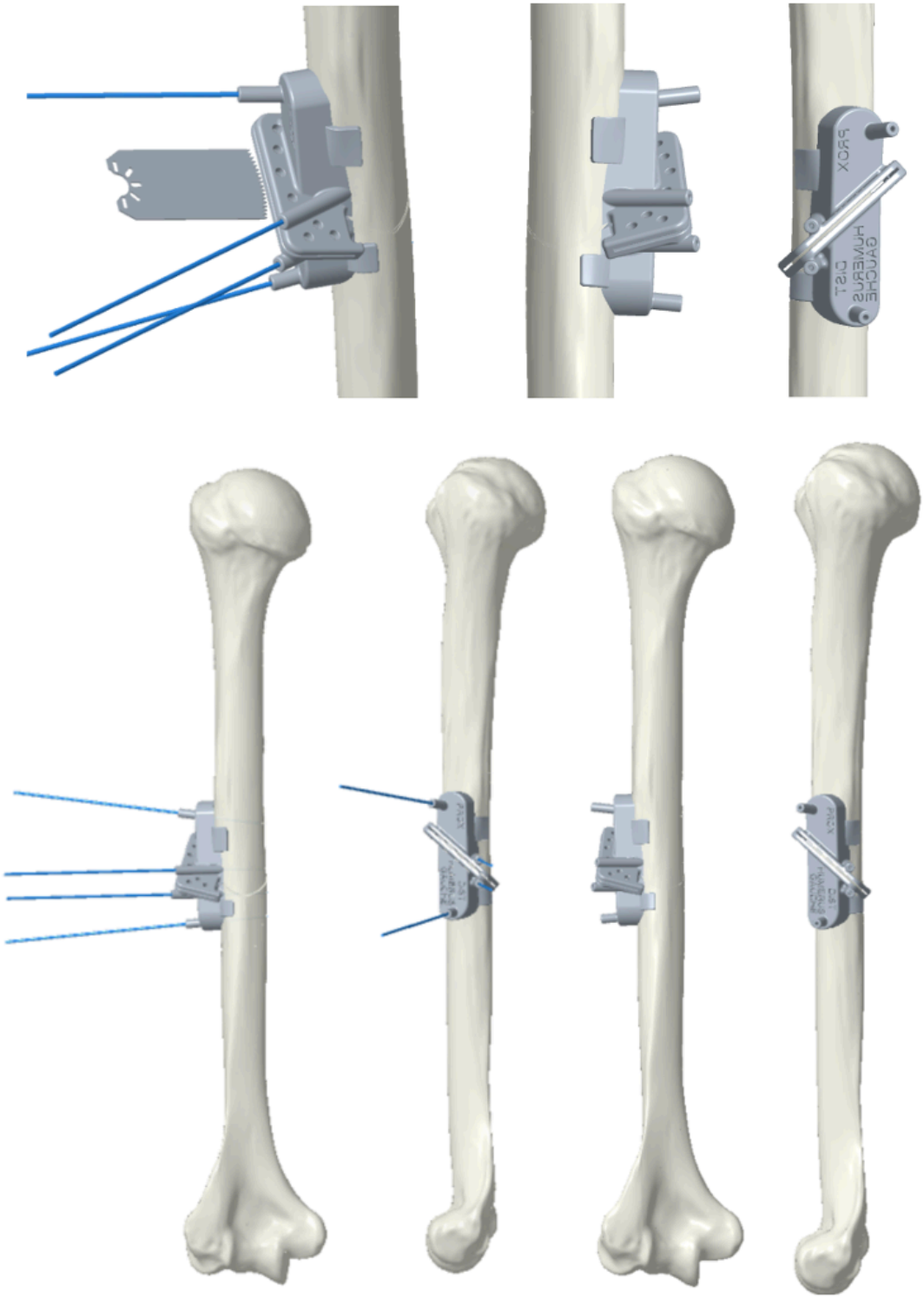

Figure supplémentaire 9 - Rendu graphique en modélisation 3D d'un guide de coupe d'humérus

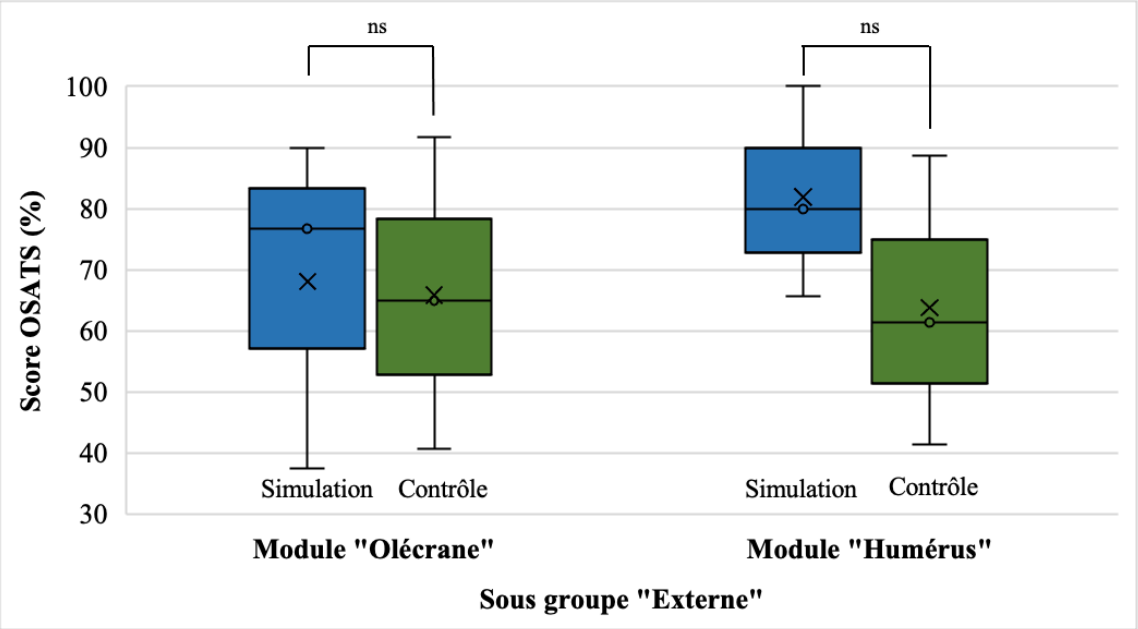

Figure supplémentaire 10 - Comparaison en box plot des résultats du score OSATS pour le module « Olécrane » et le module « Humérus » pour le sous-groupe « Externe »
ns : Non significatif.

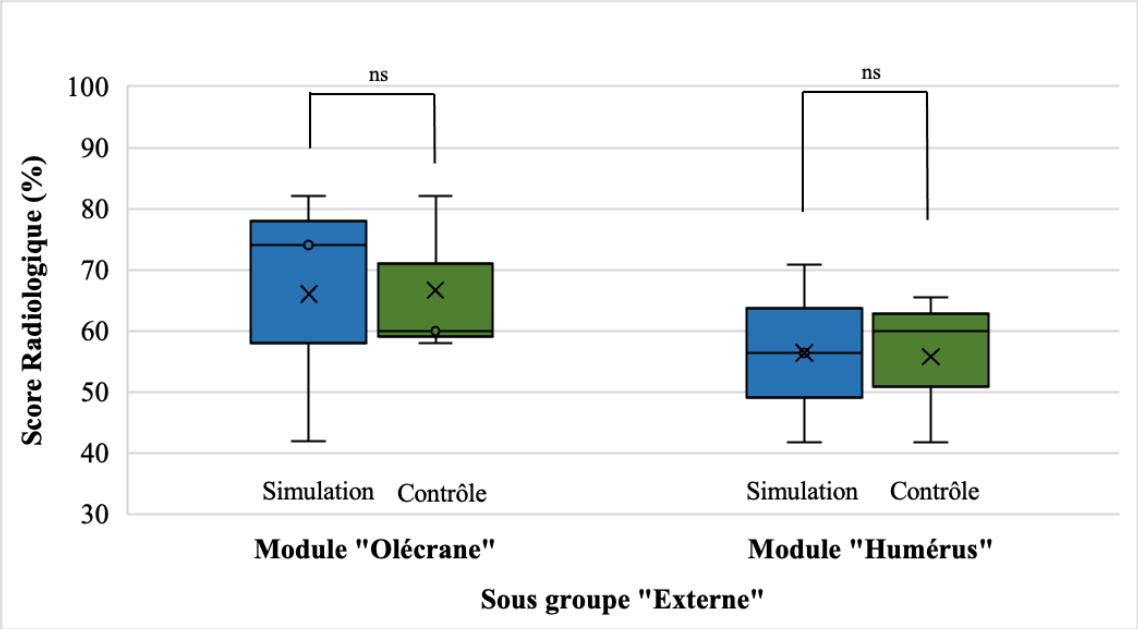

Figure supplémentaire 11 - Comparaison en box plot des résultats du score radiologique pour le module « Olécrane » et le module « Humérus » pour le sous-groupe « Externe »
ns : Non significatif

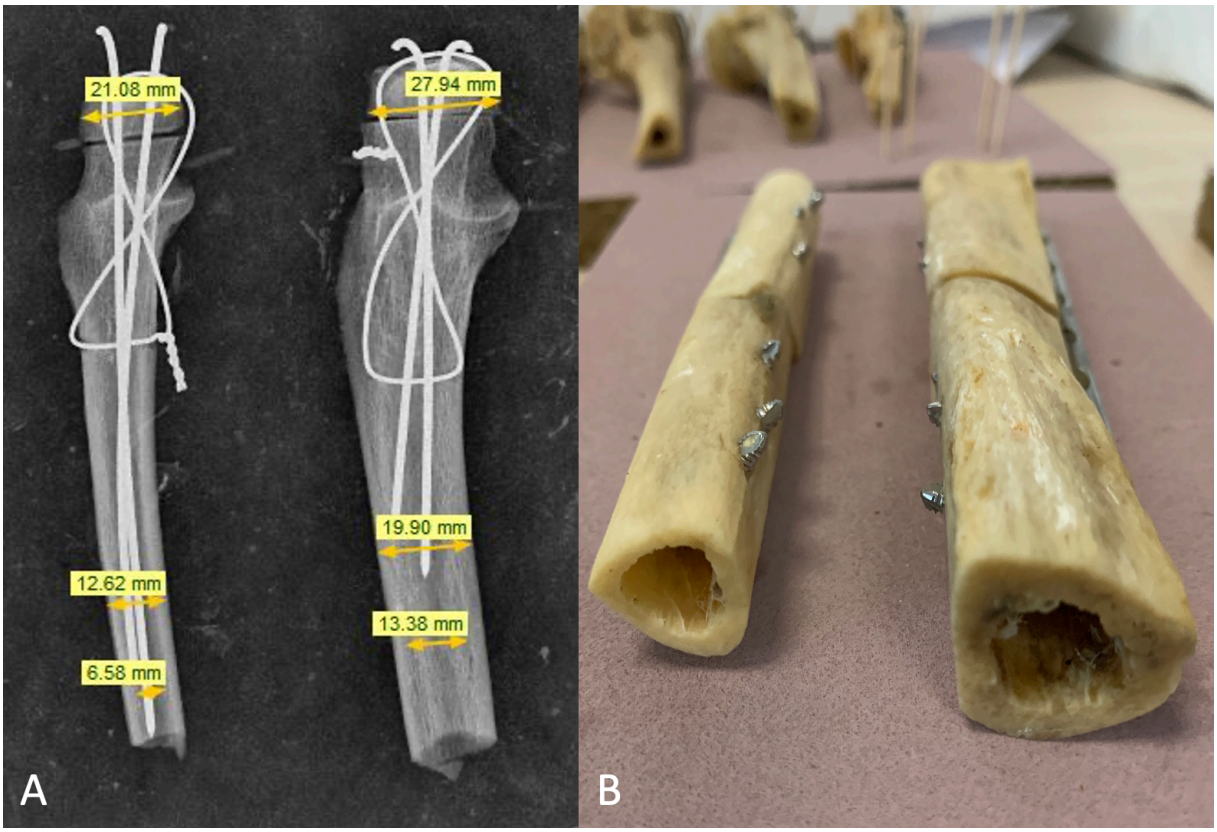

Figure supplémentaire 12 - Différence de calibre osseux
A) Différence morphologique radiologique d'olécrane ; B) Différence de morphologie et d'épaisseur corticale d'humérus.

Vu, le Président du Jury,

Professeur Christophe NICH

Vu, le Directeur de Thèse,

Docteur Vincent CRENN

Vu, le Doyen de la Faculté,

Professeur Pascale JOLLIET

NOM : PECHEUR PRENOM : Jimmy

Titre de Thèse : Évaluation de la transposition des compétences chirurgicales en ostéosynthèse après apprentissage par simulation sur os synthétique

---

RESUME

L'utilisation d'atelier de simulation nécessite une validation pédagogique : La transposition des compétences en chirurgie traumatologique entre la simulation sur os synthétique et le bloc opératoire. 16 apprenants ont été randomisés en 2 groupes. Le groupe simulation a bénéficié de 2 entrainements sur os synthétiques. L'évaluation par un score objectif per-opératoire OSATS et un score radiologique final, a été réalisée sur sujets anatomiques. Les deux scores étaient en faveur du groupe simulation pour le module olécrane, notamment pour les internes. Le module humérus semblait trop complexe, notamment dans la gestion des parties molles pour obtenir des résultats significatifs. Nous apportons la preuve de la validité du transfert de compétences pour l'acquisition d'habiletés chirurgicales simples.

MOTS-CLES

Pédagogie, Simulation, Évaluation, Transposition des acquis, Os synthétique, Sujet anatomique, Ostéosynthèse, Traumatologie, Chirurgie, Internat