

كلية الطب والصيدلة وطب الأسنان
FACULTÉ DE MÉDECINE, DE PHARMACIE ET DE MÉDECINE DENTAIRE



جامعة سيدي محمد بن عبد الله - فاس
UNIVERSITÉ SIDI MOHAMED BEN ABDELLAH DE FES

Année 2025

Thèse N°074/25

EVALUATION D'UNE FORMATION PAR SIMULATION EN CHIRURGIE VASCULAIRE ET NERVEUSE DE LA MAIN TRAUMATIQUE :

Expérience du service de Traumatologie-orthopédie B4 du CHU Hassan II Fès

THÈSE

PRÉSENTÉE ET SOUTENUE PUBLIQUEMENT LE 12/02/2025

PAR

Mme. Dasraoui Manal

Née le 10 Août 1999 à Fès

POUR L'OBTENTION DU DOCTORAT EN MÉDECINE

MOTS-CLÉS :

Simulation médicale – Traumatisme de la main – Microchirurgie

Formation chirurgicale – Traumatologie et orthopédie

JURY

M. EL MRINI ABDELMAJID PRÉSIDENT

Professeur de Traumatologie-orthopédie

M. ABID HATIM RAPPORTEUR

Professeur de Traumatologie-orthopédie

M. EL IDRISSE MOHAMMED.....

Professeur de Traumatologie-orthopédie

M. JIBER HAMID

Professeur de Chirurgie vasculaire

} JUGES

PLAN

SOMMAIRE

| | |
|--|----|
| INTRODUCTION..... | 11 |
| MATERIEL ET METHODE | 15 |
| I. Type de l'étude :..... | 16 |
| II. Population cible et critères d'inclusion : | 16 |
| III. Objectifs de l'étude :..... | 16 |
| IV. La formation théorique : | 17 |
| V. Constitution des groupes :..... | 17 |
| VI. La formation pratique : | 18 |
| 1. Briefing :..... | 18 |
| 2. Pré-briefing scénario : | 19 |
| 3. Déroulement des exercices de simulation :..... | 21 |
| 3.1. Scénario SV :..... | 22 |
| 3.2. Scénario SN :..... | 23 |
| 4. Débriefing : | 24 |
| 5. Evaluation des compétences :..... | 25 |
| RESULTATS ET ANALYSE..... | 26 |
| I. Evaluation du bénéfice de la simulation :..... | 27 |
| II. Ressenti des participants : | 30 |
| DISCUSSION..... | 31 |
| I. Introduction :..... | 32 |

| | |
|---|-----|
| II. Les traumatismes de la main :..... | 33 |
| 1. Généralités :..... | 33 |
| 2. Enjeux de la prise en charge :..... | 38 |
| III. Etat des lieux de la formation des résidents en chirurgie traumatologique et orthopédique au Maroc :..... | 40 |
| 1. Le compagnonnage :..... | 41 |
| 2. Le tutorat chirurgical :..... | 42 |
| 3. Apprentissage par simulation :..... | 44 |
| IV. La microchirurgie en traumatologie et concept de la simulation en santé | 47 |
| 1. La microchirurgie en traumatologie | 47 |
| 2. Techniques utilisées en microchirurgie : | 52 |
| 3. La microchirurgie en traumatologie :..... | 62 |
| 4. Concept de la simulation en santé | 65 |
| 4.1 Définitions : | 65 |
| 4.2 Historique :..... | 66 |
| 4.3 Les bases de simulation en santé : particulièrement en chirurgie traumatologique et orthopédique :..... | 76 |
| 4.4 Objectifs et intérêt de la simulation chirurgicale : | 89 |
| V. Analyse et discussion de nos résultats : | 92 |
| VI. Limites de notre étude :..... | 106 |
| CONCLUSION ET PERSPECTIVES..... | 107 |
| RESUMES | 110 |

| | |
|---------------------|-----|
| ANNEXES | 116 |
| BIBLIOGRAPHIE | 125 |

LISTE DES ABREVIATIONS

CoTeMi : Grille d'évaluation des compétences techniques en microchirurgie

DASH : Debriefing Assessment for Simulation in Healthcare

DNRPEES : Digital Nerve Repair Practical Exam Evaluation Sheet

ELT : Théorie de l'apprentissage expérientiel

FESUM : La Fédération Européenne des Services d'Urgences Mains

GRSOP : Global Rating Scale of Operative Performance

HAS : Haute autorité de santé

HSF : Simulation haute-fidélité

PDCA : Planifier , développer ,contrôler et agir

PS : Patient standardisé

RV / VR : virtual reality

SAMS : StructuredAssessment of MicrosurgerySkills

SAMU : Service d'aide médicale urgente

SBME : Simulation based medical education

SMRTS : Stanford Microsurgery and resident Training Scale

SN : Suture nerveuse

SV : Suture vasculaire

UNESCO : Organisation des Nations unies pour l'éducation, la science et la culture

UWOMSA : University Western Ontario MicrosurgicalSkills Acquisition/Assessment
Instrument

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|---|----|
| Tableau 1 : Scores et Moyennes obtenus pour le scénario de l'anastomose vasculaire pour les deux groupes SV et SN avec la p-value | 28 |
| Tableau 2 : Scores et Moyennes obtenus pour le scénario de la suture nerveuse pour les deux groupes SN et SV avec la p-value | 29 |
| Tableau 3 : Répartition des étiologies selon la littérature | 34 |
| Tableau 4 : Répartition des malades selon les lésions de la main et du poignet .. | 35 |
| Tableau 5 : Choix de fil en fonction de diamètre de vaisseau | 51 |
| Tableau 6 : Classification des lésions nerveuses | 60 |

LISTE DES FIGURES

| | |
|---|----|
| Figure 1 : Equipements mis à disposition pour les séances de simulation | 19 |
| Figure 2 : Anastomose artérielle termino-terminale en vue microscopique | 20 |
| Figure 3 : Suture nerveuse épineurale en vue microscopique | 20 |
| Figure 4 : Les différentes étapes de la préparation des modèles animaux pour les exercices de simulation | 21 |
| Figure 5 : le scénario de la suture vasculaire | 23 |
| Figure 6 : plaie profonde de la zone II de la face palmaire de la main suite à une agression avec sub amputation de 5ème doigt..... | 36 |
| Figure 7 plaies de la zone V de la face dorsale de la main suite à une agression . | 36 |
| Figure 8 : traumatisme ouvert des phalanges distales de 2ème , 3ème , 4ème et 5ème doigt suite un accident de travail..... | 37 |
| Figure 9 : plaie de la zone II de pouce suite à une agression..... | 37 |
| Figure 10 : Carte des centres FESUM en France en 2011. 51 centres dont 21 publics et 30 privés. Parmi les 21 centres publics, 18 sont des Centres Hospitalo- Universitaires. | 39 |
| Figure 11 : Modèle de compagnonnage : le chirurgien sénior guide un résident pendant une intervention | 42 |
| Figure 12 : Triangle pédago-didactique : Triangle de Houssaye | 44 |
| Figure 13 : L'hôpital de simulation à la faculté de médecine de pharmacie et de médecine dentaire de Fès | 46 |
| Figure 14 : Loupe binoculaire chirurgicale..... | 48 |
| Figure 15 : instruments de la microchirurgie..... | 50 |
| Figure 16 : réalisation d'une anastomose termino terminale..... | 57 |
| Figure 17 : Anatomie du nerf périphérique..... | 59 |

| | |
|---|----|
| Figure 18 :les types de sutures nerveuses | 62 |
| Figure 19 : Cas d'un patient de l'étude précédemment décrite victime d'accident de travail en pré opératoire (a) , post opératoire (b) et le résultat fonctionnel après 6mois (c)..... | 64 |
| Figure 20 : Une statue en bronze montrant les points d'acupuncture..... | 67 |
| Figure 21 : Mannequin d'obstétrique réalisé par Angélique Du Coudray | 68 |
| Figure 22 : Asmund Laerdal avec le simulateur Resusci–Anne..... | 69 |
| Figure 23 : Stephen Abrahamson (assis) et Dr .Judson Denson avec Sim One | 71 |
| Figure 24 : Dr. Michael Gordon avec le simulateur Harvey | 72 |
| Figure 25 : La réalité virtuelle comme moyen de simulation médicale | 74 |
| Figure 26 : Technique de moulage sur un patient standardisé simulant une gangrène..... | 79 |
| Figure 27 : corps plastiné exposé | 80 |
| Figure 28 : Mannequin de simulation haute–fidélité adulte..... | 82 |
| Figure 29 : Task trainer utilisé pour apprendre la technique de suture des plaies cutanés | 83 |
| Figure 30 : jambe d'entrainement à la gestion d'hémorragie massive au cours des fractures de jambe | 84 |
| Figure 31 : simulateur de réalité virtuelle pour les fractures de fémur | 85 |
| Figure 32 : Comparaison de la chirurgie arthroscopique réelle avec le système de chirurgie basé sur la réalité virtuelle :(a) Interface réelle pour la chirurgie arthroscopique du genou.(d) Interface haptique virtuelle à deux mains. (b) et (c) Captures d'écran réelles provenant de l'arthroscope du genou. (e) et (f) Vues simulées | 86 |
| Figure 33 : Classification de simulateur chirurgical selon CHINIARA. | 87 |

| | |
|--|-----|
| Figure 34 Salle de surveillance vidéo d'un centre de simulation..... | 88 |
| Figure 35 : cycle PDCA..... | 90 |
| Figure 36 : les principes de modèle de kolb | 93 |
| Figure 37 : Modèle d'interaction entre la mémoire épisodique, la mémoire sémantique et les processus cognitifs..... | 96 |
| Figure 38 : dissection sur cadavre | 98 |
| Figure 39 : Préparation d'un modèle de konnyaku shirataki. Perçage du modèle pour créer la lumière (A). L'aiguille du cathéter en place, le konnyaku est partiellement retiré pour laisser une longueur de 5 mm de lumière afin de permettre l'anastomose (B). Modèle prêt à être anastomosé (C)..... | 100 |
| Figure 40 :Anastomose d'un modèle de konnyaku shirataki. Pénétration d'une aiguille de suture en nylon 10/0 à travers la lumière (A). Serrage du nylon 10/0 (B). Anastomose terminée (C)..... | 101 |
| Figure 41 : Simulateur de VR | 102 |
| Figure 42 :Simulateur d'arthroscopie au centre de simulation d'Agadir (Agadir SIM) | 102 |

Liste des graphiques

| | |
|--|----|
| Graphique 1 : Représentation graphique des scores obtenus pour le scénario de l'anastomose vasculaire par les deux groupes SV et SN..... | 27 |
| Graphique 2 : Représentation graphique des scores obtenus pour le scénario de la suture nerveuse par les deux groupes SV et SN..... | 28 |

INTRODUCTION

La simulation médicale s'impose de plus en plus comme un pilier de la formation des professionnels de la santé, bouleversant les méthodes traditionnelles d'apprentissage par une approche pratique et interactive. Alors que les avancées technologiques transforment l'ensemble des pratiques médicales, la simulation permet aujourd'hui de reproduire des environnements cliniques réalistes et contrôlés dans lesquels les étudiants et les praticiens peuvent acquérir et perfectionner leurs compétences sans risque pour les patients. Le domaine de la chirurgie, en particulier, bénéficie de ces innovations en permettant un apprentissage progressif sans mettre en danger la sécurité des patients. Dans un contexte de formation exigeant une maîtrise technique élevée, la simulation joue ainsi un rôle crucial dans l'optimisation de la qualité et de la sécurité des soins (1).

En mettant l'accent sur une approche réaliste, la simulation médicale se révèle particulièrement précieuse dans la préparation à des situations critiques, telles que les traumatismes complexes de la main qui sont souvent causés par des agressions, des accidents de la voie publique ou des incidents professionnels. La main traumatique représente une urgence chirurgicale fréquente nécessitant une intervention experte et immédiate. Ces traumatismes peuvent provoquer des lésions complexes qui touchent non seulement la peau et les os, mais aussi les structures vasculaires et nerveuses de la main (2). Bien que nous ne disposions pas de données épidémiologiques directes sur les traumatismes de la main au Maroc, des études réalisées en France estiment le nombre de traumatismes de la main à environ 1400000 cas par an, dont 620000 sont graves et complexes, pouvant entraîner des séquelles et un handicap permanent (3). Ces chiffres illustrent la gravité et la fréquence des blessures de la main, et il est raisonnable de supposer qu'au Maroc, le

besoin de prise en charge spécialisée est tout aussi crucial, compte tenu de la prévalence élevée des traumatismes en milieu de travail, des accidents de la route et des agressions.

Cependant, un constat majeur s'impose : il n'existe pas de programme de formation en microchirurgie de la main pour les médecins résidents de chirurgie traumatologique au Maroc, qui sont souvent confrontés en première ligne à des urgences complexes. Il convient de souligner que les techniques de suture vasculaire et nerveuse, nécessaires pour traiter les lésions complexes de la main, sont particulièrement délicates et exigent des compétences spécifiques et un niveau de maîtrise élevé. Pourtant, ces compétences ne sont pas systématiquement incluses dans le cursus de formation des résidents en traumatologie et orthopédie, laissant les jeunes praticiens sans préparation face aux défis de la microchirurgie de haute précision. Cette carence augmente non seulement le risque de complications postopératoires mais aussi l'incertitude quant à la prise en charge optimale des patients, impactant ainsi la qualité globale des soins d'urgence.

Comme l'indique **Delingette**, l'intégration de technologies de simulation dans les programmes de formation pourrait pallier ces lacunes. Ces outils permettent aux résidents d'acquérir et de perfectionner leurs compétences techniques dans un environnement contrôlé. L'inclusion de telles approches innovantes pourrait transformer le parcours de formation des futurs chirurgiens, leur offrant non seulement l'expertise mais également une plus grande confiance dans leur pratique, et, en conséquence, des soins de meilleure qualité pour les patients victimes des blessures complexes de la main (4).

Dans le cadre de notre étude, la simulation a été utilisée pour former les résidents de 2^{ème}, 3^{ème} et 4^{ème} année de spécialité en traumatologie et orthopédie aux techniques de suture vasculaire et nerveuse en microchirurgie. Cette simulation comprenait des séances pratiques de sutures microchirurgicales sur modèle animal et des pièces de dissection cadavériques. Les participants ont été évalués sur leur capacité à réaliser une anastomose termino-terminale vasculaire et nerveuse à deux semaines après la formation initiale.

Ainsi, les objectifs de notre travail de thèse sont comme suivis :

- Étudier l'intérêt et l'apport pédagogique à court terme de la simulation médicale par rapport à une formation classique dans la prise en charge des lésions vasculaires et nerveuses de la main traumatique dans un service de traumatologie et d'orthopédie.
- Justifier l'intégration d'une formation par simulation en microchirurgie de la main dans le cursus standard des résidents en traumatologie et orthopédie.
- Rappeler les principes des concepts de la simulation en santé et l'enseignement par simulation.

MATERIEL ET METHODE

I. Type de l'étude :

Notre étude est une étude de cohorte observationnelle et descriptive, prospective, mono-centrique, randomisée, ouverte, avec un groupe contrôle.

II. Population cible et critères d'inclusion :

Tous les résidents de la 2^{ème}, 3^{ème} et 4^{ème} année du service de chirurgie traumatologique et orthopédique B4 de CHU HASSAN II de Fès avaient participé à cette étude. Il s'agissait de 18 médecins, tous de sexe masculin dont 8 étaient en 2^{ème} Année de formation, 6 en 3^{ème} année et 4 en 4^{ème} année. Au début du mois de Décembre 2019, nous avons organisé dans la salle de cours du service, une présentation concernant la mise en place de séances d'apprentissage des sutures vasculaires et nerveuses par simulation sur modèle animal et pièces de dissection cadavériques en vue d'optimiser la prise en charge de la main traumatique aux urgences. Les candidats étaient libres d'accepter ou de refuser de participer aux séances de simulation et aux évaluations. Tous avaient consenti à participer aux différentes étapes de cette étude.

III. Objectifs de l'étude :

- Evaluer l'apport pédagogique à court terme de la simulation médicale dans l'acquisition des compétences en microchirurgie des lésions vasculaires et nerveuses de la main traumatique par rapport à une formation classique.
- Justifier l'intégration d'une formation par simulation en microchirurgie de la main dans le cursus standard des résidents en traumatologie et orthopédie.

IV. La formation théorique :

La première phase de l'étude consistait à assurer la formation théorique de tous les participants. Les résidents ont reçu deux semaines avant la première séance de simulation, par courrier électronique, les présentations sous forme PowerPoint concernant l'initiation des apprenants à l'expérimentation animale dans un cadre éthique, la préparation des plans de travail, l'anesthésie des rats et la préparation des champs opératoires.

Les rappels des voies d'abord, de dissection et des techniques d'anastomose vasculaire et nerveuse sous microscope ont fait l'objet de présentations en cours théoriques (4 heures). Ainsi tous les participants étaient en mesure d'acquérir les prérequis nécessaires pour entamer les séances de simulation proprement dites sans qu'ils aient connaissance du thème de leur exercice pratique (suture vasculaire (SV) ou nerveuse (SN))

V. Constitution des groupes :

Les participants inclus dans l'étude ont été répartis par tirage au sort en deux groupes, chacun est constitué de 9 résidents. Un groupe dénommé « SV » pour suture vasculaire, qui a été spécifiquement formé sur un modèle animal (rat) à la réalisation d'anastomose artérielle termino-terminale. Le deuxième groupe dénommé « SN » pour suture nerveuse a été formé sur la technique de rétablissement de la continuité d'un nerf par des sutures épineurales sur des pièces humaines cadavériques. Ainsi chacun de ces deux groupes a servi de groupe témoin à l'autre pour la technique opératoire dans laquelle il n'a pas reçu de formation pratique.

VI. La formation pratique :

1. Briefing :

Les deux groupes ont été convoqués au laboratoire d'anatomie de la faculté de médecine et de pharmacie de Fès à des dates différentes (Figure 1). Le briefing d'introduction a eu pour but d'expliciter les objectifs pédagogiques des séances de formation pratiques et le rôle de chacun des participants. Les résidents ont pu se familiariser avec les modèles de simulation, les plans et le matériel de travail. Le déroulement des séances de simulation se faisait en 3 étapes : une phase initiale de pré-briefing, la mise en situation pratique puis une étape de débriefing. Chaque séance durait en moyenne 60 minutes. L'encadrement a été assuré par les professeurs de traumatologie et orthopédique B4.

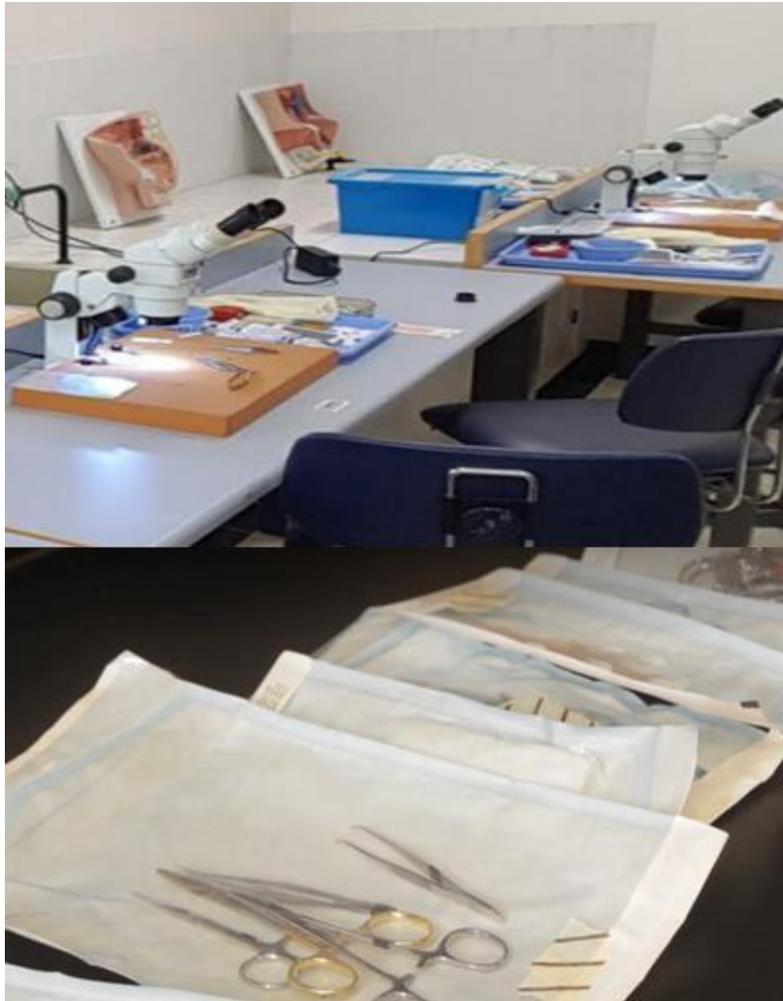


Figure 1 : Equipements mis à disposition pour les séances de simulation

2. Pré-briefing scénario :

Cette première étape a eu pour but de préparer les participants à la situation clinique à venir : l'anastomose vasculaire en mode termino-terminal (Figure 2) après la section de l'aorte sous rénale chez le rat pour les membres du groupe SV, et le rétablissement de la continuité d'un nerf digital par sutures épineurales (Figure 3) après sa section sur pièces humaines cadavériques, par incision transverse et palmaire en regard de la phalange proximale et ce pour les membres du groupe SN.

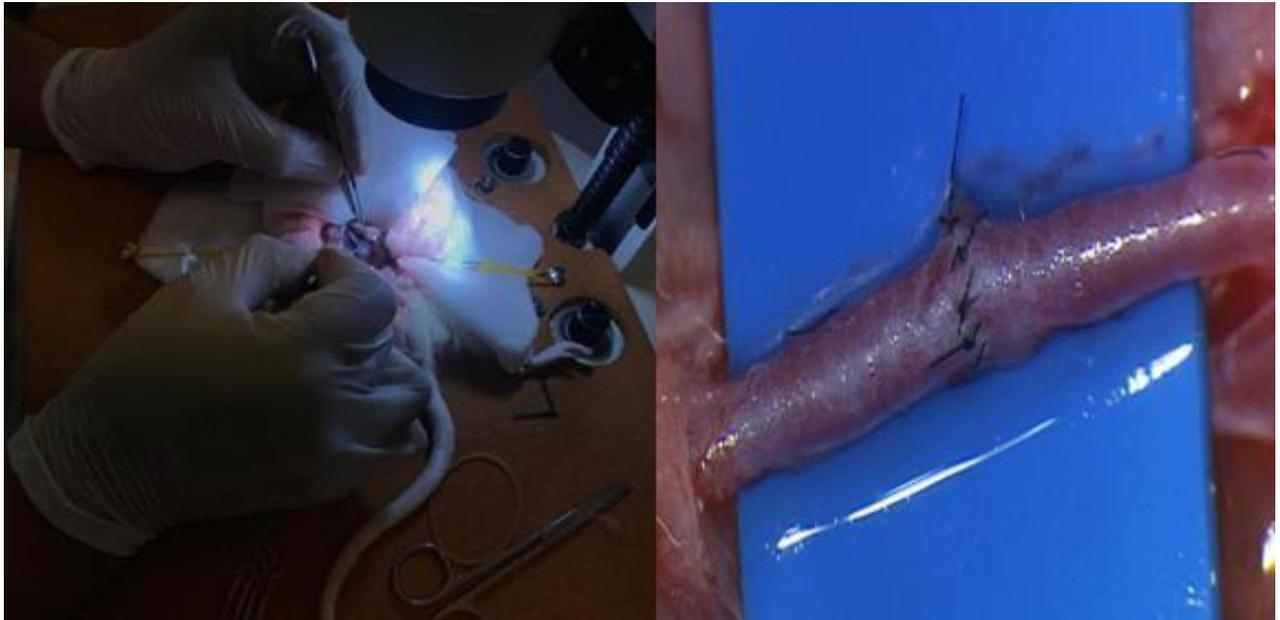


Figure 2 : Anastomose artérielle termino-terminale en vue microscopique

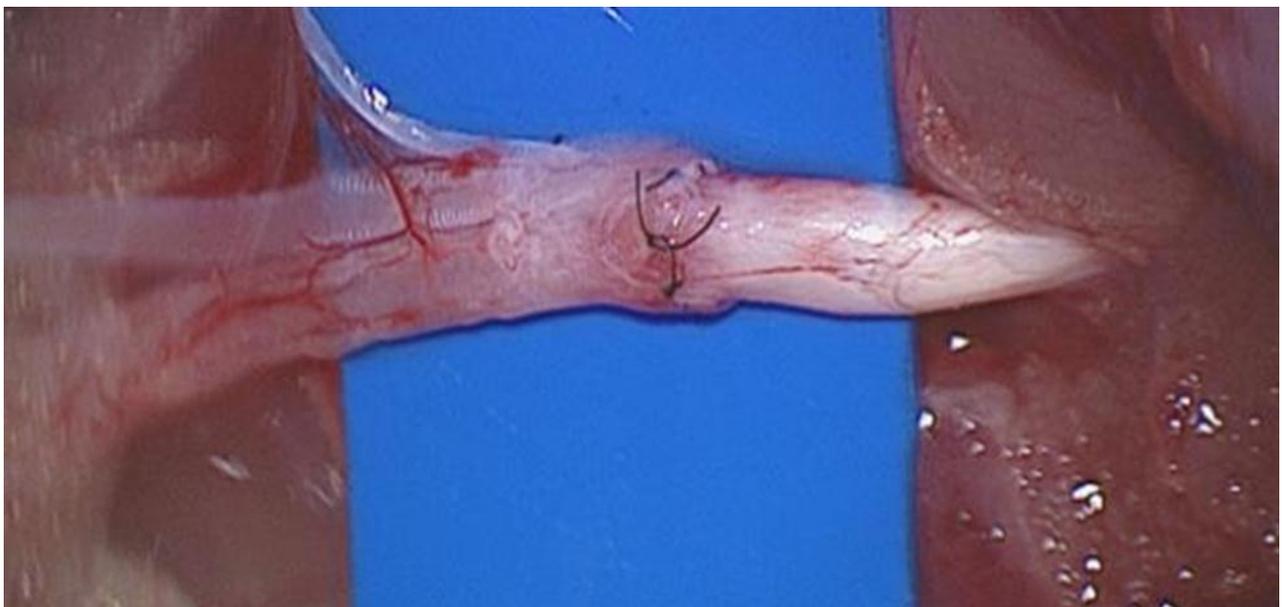


Figure 3 : Suture nerveuse épineurale en vue microscopique

3. Déroulement des exercices de simulation :

Tous les participants ont réalisé de façon individuelle la préparation des différents plans de travail, l'anesthésie des rats pour l'exercice de l'anastomose vasculaire ainsi que la préparation et la désinfection des champs opératoires (Figure 4). Les résidents étaient accompagnés et encadrés tout au long de la séance de simulation par les professeurs du service B4.



Figure 4 : Les différentes étapes de la préparation des modèles animaux pour les exercices de simulation

3.1. Scénario SV :

Nous avons décidé pour garantir une certaine validité prédictive à notre exercice, de reproduire un environnement similaire à celui d'une salle d'opération dans lequel les candidats pouvaient effectuer une anastomose artérielle en mode termino-terminal du début jusqu'à la fin. Pour ce faire, nous avons choisi d'utiliser, dans un environnement de laboratoire le modèle animal du rat. Nous avons voulu également nous assurer de la faisabilité de la procédure en milieu de laboratoire. Pour cela, le chirurgien superviseur a effectué la procédure sous l'observation des résidents du groupe SV. Après total endormissement, rasage et désinfection de la région abdominale, l'animal est installé en décubitus dorsal, tête à gauche. Ses membres sont fixés sur la planche opératoire par des bandelettes adhésives. L'abord est pratiqué par une incision xipho-pubienne de la peau (Figure 5). La paroi musculaire abdominale est ouverte selon la ligne blanche pour placer un écarteur de part et d'autre de l'incision. Les intestins sont mis dans une compresse humide et refoulés à l'extérieur et sur la gauche de l'animal. Le péritoine pariétal postérieur est ensuite incisé pour mettre en évidence l'aorte et la veine cave. A ce stade, l'intervention sous microscope peut commencer par une dissection minutieuse en vue de la libération de l'aorte de son environnement sur toute sa longueur. Elle est ensuite isolée par un fond plastifié de contraste et clampée. Après section, lavage et refoulement de l'adventice de l'aorte, l'anastomose est réalisée par dix points de fil 10/0.



Figure 5 : le scénario de la suture vasculaire

3.2. Scénario SN :

De la même manière et dans un environnement de laboratoire, les participants vont effectuer le rétablissement de la continuité d'un nerf digital sectionné sur des modèles humains cadavériques frais congelés du membre supérieur, s'étendant de l'épaule jusqu'aux doigts. Chaque doigt est utilisé pour évaluer un résident. Nous avons préparé ces modèles cadavériques de manière identique. La section nerveuse était pratiquée par une incision palmaire, transverse par rapport à l'axe du doigt, en regard de la phalange proximale. Pour nous assurer de la faisabilité de la procédure en milieu de laboratoire, le

chirurgien superviseur l'a effectuée sous l'observation des résidents. Tous les instruments nécessaires à la performance de la procédure ont été mis à la disposition des participants, du bistouri au fil de la neurorrhaphie (Nylon 9/0), en prêtant un soin particulier aux instruments de microchirurgie (les ciseaux de dissection Stevens, une pince Adson, les ciseaux Iris, une pince bijoutier, les ciseaux micro courbes et un porte-aiguille micro). Nous avons également mis à la disponibilité des candidats du ruban adhésif et des punaises pour l'installation du membre supérieur dans une position propice au travail. Chaque candidat a eu comme instruction d'exposer la section nerveuse et de procéder à la micro-neurorrhaphie, tout en faisant abstraction des lésions des structures adjacentes.

4. Débriefing :

Le débriefing est une étape cruciale dans la clarification et la consolidation des apprentissages acquis à partir des exercices de simulation. Pour cela, chaque séance de simulation était clôturée par une phase de débriefing.

Le but était d'amener les participants et les formateurs vers la restitution d'un feed-back constructif. A la fin de la séance de formation pratique, tous les participants ont déclaré avoir assimilé les différentes techniques chirurgicales.

Pour ce qui est des formateurs, et afin de développer leurs compétences nécessaires à la conduite des débriefings, ils ont été évalués par les résidents participants selon la grille d'évaluation : Debriefing Assessment for Simulation in Healthcare ou « DASH » (Annexe 1) (5). Il s'agit d'une échelle d'évaluation comportementale avec descripteurs qualitatifs, basée sur les comportements nécessaires pour favoriser un débriefing efficace.

Le DASH explore et note six éléments clés d'un débriefing sur une échelle de sept niveaux d'efficacité et que sont : l'établissement d'un climat favorable à l'apprentissage et son maintien, la conduite du débriefing de manière structurée, la stimulation des échanges, l'identification des écarts de performance et l'aide des apprenants à l'atteinte et le maintien d'un bon niveau de performance.

5. Evaluation des compétences :

L'ensemble des participants des groupes SV et SN ont été convoqués de façon individuelle à deux semaines à compter de la date de la dernière formation pratique.

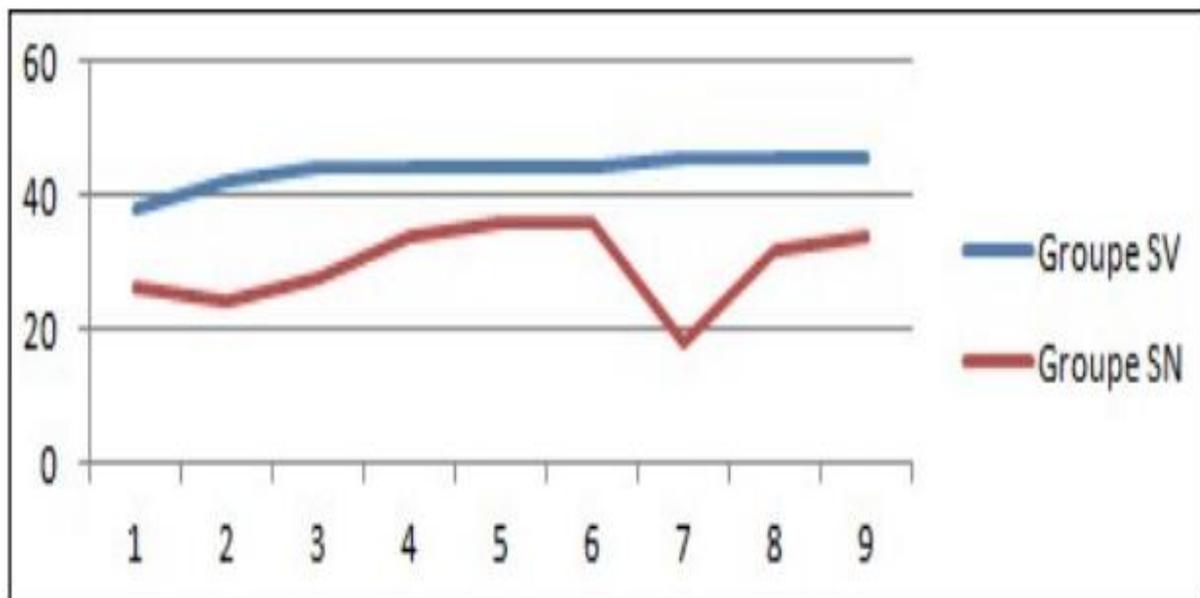
Chacun des résidents a été évalué sur sa technique de suture pour les deux situations : (suture vasculaire et nerveuse) à l'aide de grille d'évaluation des compétences techniques en microchirurgie (CoTeMi) (Annexe 2) pour l'anastomose vasculaire (6) et une échelle d'évaluation procédurale spécifique de la réparation des nerfs digitaux (Digital Nerve Repair Practical Exam Evaluation Sheet (DNRPEES)) pour la suture nerveuse (Annexe 3) (7) .Les locaux et le matériel utilisé étaient les mêmes que lors de la phase de formation. Au décours de cette phase d'évaluation individuelle, chaque participant a bénéficié d'un débriefing.

RESULTATS ET ANALYSE

I. Evaluation du bénéfice de la simulation :

Sur le scénario SV, les scores obtenus par le groupe correspondant formé à l'anastomose vasculaire sur modèle animal étaient significativement supérieurs à ceux du groupe SN dont les membres n'ont bénéficié que d'une formation théorique sur le thème et ce à deux semaines (Graphique 1 et tableau 1).

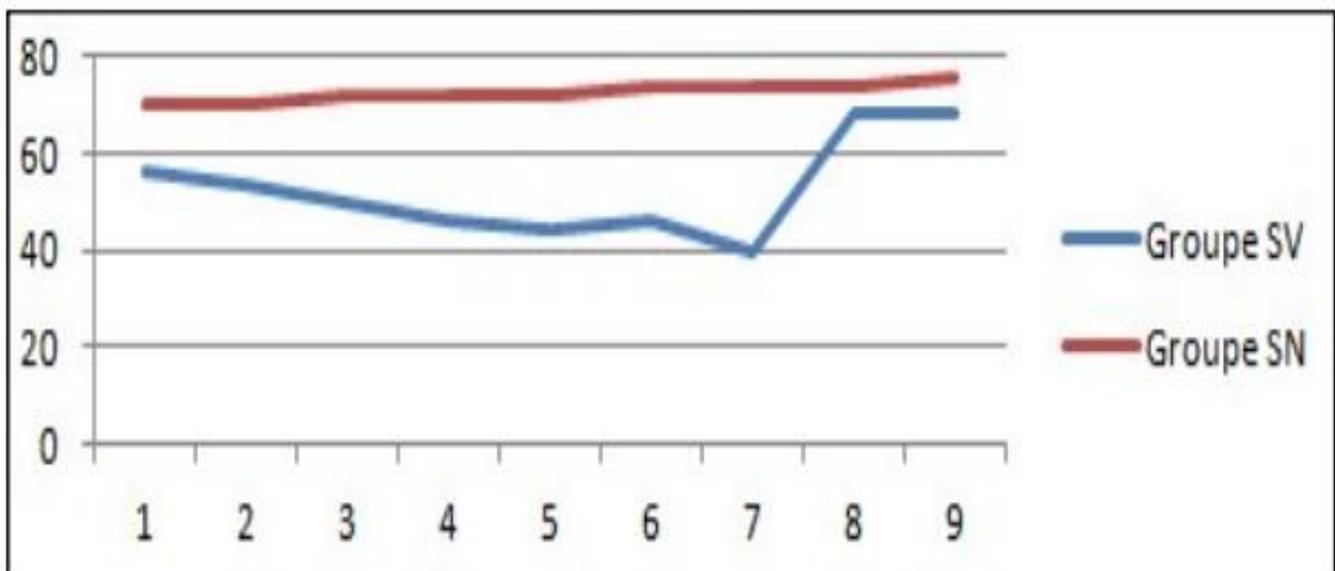
De la même manière, Sur le scénario SN les scores obtenus par le groupe correspondant, formé à la suture nerveuse sur pièces humaines cadavériques du membre supérieur, étaient significativement supérieures à ceux du groupe SV aux différentes étapes de l'évaluation (Graphique 2 et tableau 2).



Graphique 1 : Représentation graphique des scores obtenus pour le scénario de l'anastomose vasculaire par les deux groupes SV et SN

Tableau 1 : Scores et Moyennes obtenus pour le scénario de l'anastomose vasculaire pour les deux groupes SV et SN avec la p-value

| Scores des résidents | Groupe SV | Groupe SN |
|----------------------|-------------|-------------|
| | 38 | 26 |
| | 42 | 24 |
| | 44 | 28 |
| | 44 | 34 |
| | 44 | 36 |
| | 44 | 36 |
| | 46 | 18 |
| | 46 | 32 |
| | 46 | 34 |
| Somme | 394,00 | 268,00 |
| Moyenne | 43,78 | 29,78 |
| Ecart type | 2,538591035 | 6,200358413 |
| Variance | 6,44E+00 | 3,84E+01 |
| p value | 0,000148767 | |



Graphique 2 : Représentation graphique des scores obtenus pour le scénario de la suture nerveuse par les deux groupes SV et SN

Tableau 2 : Scores et Moyennes obtenus pour le scénario de la suture nerveuse pour les deux groupes SN et SV avec la p-value

| | Groupe SV | Groupe SN |
|-----------------------------|--------------------|-----------------|
| Scores des résidents | 56 | 70 |
| | 54 | 70 |
| | 50 | 72 |
| | 46 | 72 |
| | 44 | 72 |
| | 46 | 74 |
| | 40 | 74 |
| | 68 | 74 |
| | 68 | 76 |
| | Somme | 472,00 |
| Moyenne | 52,44 | 72,67 |
| Ecart type | 10,0884973 | 2 |
| Variance | 1,02E+02 | 4,00E+00 |
| p value | 0,000247702 | |

L'analyse des résultats met en évidence l'impact positif de la simulation sur l'apprentissage des techniques chirurgicales. Les participants ayant bénéficié d'un entraînement pratique spécifique ont obtenu des scores significativement supérieurs à ceux n'ayant suivi qu'une formation théorique, confirmant l'importance de l'apprentissage par la pratique. Toutefois, cette amélioration reste spécifique au type de formation suivie : le groupe formé à l'anastomose vasculaire sur modèle animal excelle dans ce domaine, tandis que celui formé à la suture nerveuse sur pièces cadavériques surpasse l'autre groupe dans cette compétence. La validation par les p-values (Les tableaux 1 et 2) qui sont < 0.05 renforce la

signification statistique des différences observées. Ces résultats suggèrent qu'une approche combinée des méthodes d'apprentissage, intégrant théorie et simulation sur des modèles variés, permettrait une acquisition plus complète et transférable des compétences chirurgicales.

II. Ressenti des participants :

A la fin des sessions d'évaluations, le ressenti des participants a été recueilli sur la formation qu'ils avaient reçue et les bénéfices qu'ils en avaient tirée. Tous les participants ont verbalisé leur intérêt croissant à l'apprentissage par simulation comme moyen performant de formation pédagogique. Ils ont exprimé leur souhait de l'inscrire de façon systématique dans le cursus des futures promotions. Tous ont déclaré avoir tiré un bénéfice significatif de ces séances pour leur pratique quotidienne aux urgences en termes de prise en charge des plaies vasculaires et nerveuses de la main.

DISCUSSION

I. Introduction :

Les traumatismes de la main sont parmi les blessures les plus fréquentes dans le contexte marocain. Leur prise en charge requiert une approche spécialisée en raison de la complexité des lésions qu'ils engendrent, notamment les atteintes nerveuses et vasculaires, qui peuvent compromettre gravement le pronostic fonctionnel du membre. Une gestion optimale de ces traumatismes exige l'intervention de chirurgiens expérimentés, dotés d'une formation approfondie en microchirurgie et en reconstruction.

Cependant, un constat alarmant s'impose : il n'existe actuellement aucun programme de formation spécifiquement dédié aux résidents en traumatologie orthopédique au Maroc. Ces jeunes praticiens sont confrontés quotidiennement à des cas complexes. Cette lacune dans le cursus de formation compromet leur capacité à assurer une prise en charge optimale des patients.

Face à ce défi, l'apprentissage par simulation apparaît comme une solution innovante et efficace pour combler ces insuffisances. En reproduisant des situations cliniques réalistes, cette approche pédagogique permet aux praticiens d'acquérir des gestes techniques précis et de développer leur prise de décision dans un environnement sécurisé. Notre étude a démontré l'impact positif de cette méthode, mettant en évidence son intérêt à court terme à travers diverses évaluations.

II. Les traumatismes de la main :

1. Généralités :

La main humaine est une structure complexe, composée d'un réseau intégré d'os, de tendons, de nerfs et de vaisseaux sanguins qui permettent des mouvements précis, une perception sensorielle avancée et une grande esthétique. Au-delà de sa fonction mécanique, la main joue également un rôle social important sur le plan esthétique : elle reflète des aspects de l'identité, de la culture et des émotions d'une personne par des gestes expressifs ou encore la présentation soignée. Dans de nombreuses cultures, les mains symbolisent le travail, la beauté et le statut social (8) .

L'atteinte de la main dans un contexte traumatique constitue alors un problème social et de santé publique et constitue un motif de consultation fréquent au service d'urgence traumatologique et orthopédique (9) (10). Le nombre de traumatismes de la main est d'environ 1 400 000 cas par an, dont 620 000 sont graves et complexes, pouvant entraîner des séquelles et un handicap permanent (3). Le mécanisme lésionnel le plus fréquent dans trois études était les accidents de travail (tableau 3) (11) (12) (13).

Cependant, dans le contexte marocain, les données disponibles montrent une autre tendance. Une étude réalisée en 2017 sur 14 cas a révélé que les agressions constituaient le mécanisme lésionnel prédominant, représentant 71,42 % des incidents (14) .

Tableau 3 : Répartition des étiologies selon la littérature

| Auteur | Nombre de patients | Accident de travail | Accident domestique | Agression |
|----------------|--------------------|---------------------|---------------------|-----------|
| Lima Neto | 45 | 55.6% | 28.8% | 15.55% |
| Dos Remedios | 37 | 62.6% | 37.8% | - |
| Hoang NT | 20 | 84.8% | 02.2% | 13% |
| EL Bakkali , G | 14 | 21.4% | 7.14% | 71.42% |

Une étude faite en 2005 sur une période de 1 an dans le service de chirurgie orthopédique et traumatologique de l'hôpital Gabriel Touré de Bamako ,Mali à propos de 5127 cas montrait que 429 des cas étaient victimes de traumatisme de la main soit un pourcentage de 8,28% . Le type des lésions de la main et du poignet décrit dans cette étude est représenté par les plaies (47,78% des lésions) , les contusions (35,20 % des lésions),les fractures (14,22% des lésions) et les luxations (2,8 %) (tableau 4) (15) . Sur une autre étude faite au Congo, Sivulyamwenge. & Masumbuko ont rapporté que les amputations digitales présentait 22,3% des cas sur une série de 54 patients (16) .

Tableau 4 :Répartition des malades selon les lésions de la main et du poignet (20)

| Lésions main-poignet | Effectif | Pourcentage |
|---|-----------------|--------------------|
| Plaies | 205 | 47,78 |
| Contusion simple | 151 | 35,20 |
| Fractures des phalanges | 24 | 5,59 |
| Fracture des os du poignet | 19 | 4,43 |
| Fracture des métacarpes | 18 | 4,20 |
| Luxation metacarpophalangienne et inter phalangienne | 12 | 2,80 |
| Total | 429 | 100 |



Figure 7 plaies de la zone V de la face dorsale de la main suite à une agression



Figure 6 : plaie profonde de la zone II de la face palmaire de la main suite à une agression avec sub amputation de 5ème doigt



**Figure 9 : plaie de la zone II de pouce
suite à une agression**



**Figure 8 : traumatisme ouvert des
phalanges distales de 2ème , 3ème ,
4ème et 5ème doigt suite un
accident de travail**

2. Enjeux de la prise en charge :

Au cours des traumatismes de la main, l'objectif principal de traitement des lésions induites est de **préserver les structures anatomiques** et de **maintenir la vitalité** de membre tout en assurant la **récupération fonctionnelle** et **esthétique**. Le pronostic des traumatismes de la main dépend de plusieurs facteurs interconnectés. La gravité des lésions joue un rôle crucial : les traumatismes mineurs , telles que les plaies superficielles présentent généralement un bon pronostic, tandis que les lésions complexes impliquant une atteinte tendineuse , nerveuse ou vasculaires augmentent le risque de séquelles (17). Autres facteurs liés au patient sont impliqués comme l'âge , les comorbidités La rapidité et la qualité de la prise en charge initiale joue aussi un rôle essentiel (18) .Celle-ci repose sur l'intervention de spécialistes ayant reçu une formation approfondie sur les différentes techniques de chirurgie traumatologique et de microchirurgie de la main , qui nécessitent une maîtrise exceptionnelle et une grande précision vu leur complexité.

La France a joué un rôle central dans la création de la Fédération Européenne des Services d'Urgences Mains (FESUM), une organisation dédiée à l'amélioration de la prise en charge des blessures de la main. La mission principale de la FESUM est d'accréditer des centres spécialisés, capables de gérer tout type de traumatisme de la main, 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7, grâce à une équipe hautement qualifiée (18). Cependant, dans les régions sous équipée ou en voie de développement, l'accès limité aux soins spécialisés pour les traumatismes de la main constitue un défi majeur. Ces contextes se caractérisent souvent par un manque de ressources humaines et matérielles. Au Maroc, on ne dispose pas de centre spécialisé dans la

prise en charge des traumatismes de la main ainsi qu'il n'existe pas de programme formel de formation en microchirurgie de la main disposé pour les résidents en chirurgie traumatologique et orthopédique. Certains cas sont pris en charge par les chirurgiens vasculaires bien que cela ne correspond pas toujours à leur domaine de spécialisation.



Figure 10 : Carte des centres FESUM en France en 2011. 51 centres dont 21 publics et 30 privés. Parmi les 21 centres publics, 18 sont des Centres Hospitalo-Universitaires.

Le manque de spécialistes bien formés dans ce contexte peut avoir des conséquences graves à plusieurs niveaux. Pour les patients, un traitement inadéquat peut entraîner des complications sévères, telles que des incapacités fonctionnelles, une perte d'autonomie ou des amputations. Cette situation affecte directement leur qualité de vie et augmente les risques de morbidité. Par ailleurs, cette carence exerce une pression importante sur d'autres spécialités chirurgicales, comme les chirurgiens vasculaires. Enfin, l'impact sur le système de santé est considérable : les patients sont parfois contraints de se rendre à l'étranger pour obtenir les soins nécessaires, générant des coûts supplémentaires et accentuant les inégalités d'accès aux soins. Ces enjeux soulignent l'urgence de créer au Maroc un programme de formation en chirurgie de la main permettant d'acquérir les compétences et la maîtrise des différents techniques de microchirurgie pour les futurs chirurgiens traumatologues pour répondre aux besoins croissants de la population et aux normes internationaux.

III. Etat des lieux de la formation des résidents en chirurgie traumatologique et orthopédique au Maroc :

La formation des futurs chirurgiens traumatologue au Maroc est un processus long et rigoureux, reposant sur un équilibre entre enseignement théorique et pratique. Cette formation a pour objectif de fournir aux résidents des compétences techniques et cliniques essentielles, tout en les préparant à faire face aux défis chirurgicaux complexes. Elle repose principalement sur 3 piliers : le compagnonnage, le tutorat chirurgical, apprentissage par simulation

1. Le compagnonnage :

Dans notre contexte marocain l'enseignement technique est basé essentiellement sur le compagnonnage. C'est l'un des plus anciens systèmes de formation professionnelle français. Il est défini par l'UNESCO comme un « réseau de transmission des savoirs par le métier ». Historiquement, le chirurgien Halsted l'avait défini par une mise en responsabilité progressive du junior sous le contrôle d'un senior au cours de résidanat de chirurgie offrant une libre transmission des connaissances et des compétences « clinique, technique et comportemental ». La transmission des savoir-faire constitue la base essentielle de ce modèle et s'intègre pleinement dans le système d'enseignement classique. Les apprentis ont ainsi l'opportunité de réaliser, en tout ou en partie, des interventions chirurgicales sous la supervision directe et continue d'un chirurgien sénior, reprenant ainsi le principe du stage professionnel qu'un compagnon effectuait autrefois auprès de son maître (19).

Le concept de « see one, do one, teach one» (20) est souvent utilisé en médecine notamment en chirurgie. Au service de chirurgie traumatologique, les résidents progressent selon un modèle de compagnonnage, où l'apprentissage se fait directement auprès d'un chirurgien sénior expérimenté. Les résidents de première année débutent par la préparation du bloc opératoire et assistent de manière passive, observant attentivement le chirurgien en action pour se familiariser avec les gestes et les techniques de base. Au fur et à mesure de leur progression, dès la deuxième année, ils sont d'avantage impliqués, passant à une position plus active et réalisant des gestes chirurgicaux sous la guidance précise du sénior, qui transmet son savoir-faire par l'exemple et le conseil. Ce modèle

d'apprentissage par compagnonnage favorise une acquisition progressive des compétences, en permettant aux résidents de s'inspirer directement de l'expertise et de l'expérience du chirurgien sénior. Vers la fin de leur formation, les résidents avancés, ayant accumulé des connaissances pratiques et théoriques, sont en mesure de diriger des interventions simples tout en encadrant les plus jeunes, reproduisant ainsi le cycle d'enseignement du compagnonnage et assurant la transmission continue du savoir chirurgical.



Figure 11 : Modèle de compagnonnage : le chirurgien sénior guide un résident pendant une intervention

2. Le tutorat chirurgical :

Le tutorat chirurgical occupe une place essentielle dans la formation des futurs chirurgiens. Il s'agit d'une relation formatrice entre l'enseignant et l'apprenant, où l'enseignant a pour mission de guider activement le processus

d'apprentissage. Son rôle inclut l'encadrement pédagogique des résidents, offrant un soutien de proximité tout au long de leur formation. Il participe à l'élaboration d'un plan de progression adapté pour chaque étape, mène des entretiens réguliers et des moments de réflexion, stimule le questionnement des apprenants et procède à l'évaluation des compétences acquises. L'enseignant identifie les points forts et les domaines d'amélioration, tout en aidant les résidents à développer leur capacité d'auto-évaluation (21).

Ainsi, le tuteur joue un rôle central dans le processus d'alternance intégrative, car il permet de qualifier le résident au quotidien grâce au partage de valeurs, de perspectives et d'expériences concrètes de travail.

En chirurgie, l'enseignement se distingue par son caractère unique : il s'agit d'une formation professionnelle dispensée directement par des experts du domaine. Ce parcours, qui combine des volets pratiques et théoriques sur une longue durée, dépend fortement des aptitudes pédagogiques des enseignants. Cette approche contraste et complète le modèle d'un enseignement purement théorique, transmis de manière passive, sans interaction ni application pratique pour le résident (22) (23) .

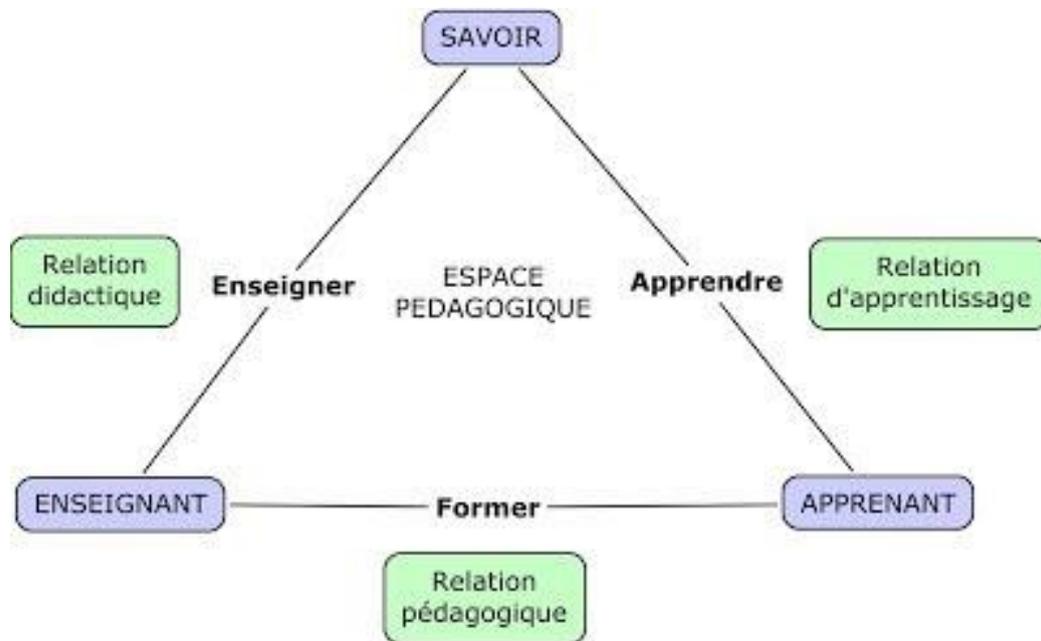


Figure 12 :Triangle pédago–didactique : Triangle de Houssaye

Cependant, plusieurs aspects de cette formation restent sujets à débat, notamment la qualité de l'enseignement pratique et l'adéquation des méthodes d'apprentissage.

3. Apprentissage par simulation :

L'intégration de la formation médicale par simulation au Maroc est un sujet d'actualité qui reflète un changement significatif dans les méthodes pédagogiques utilisées dans le domaine de la santé bien que la mise en place complète de cette méthode d'enseignement reste un défi dans un système de santé en pleine évolution. Le but de cette approche est d'enseigner des procédures diagnostiques et thérapeutiques et de permettre de répéter des processus, des situations ou des

prises de décision par un professionnel de santé ou une équipe de professionnels (24). Tout cela étant en harmonie avec un principe éthique primordial : « jamais la première fois sur le patient ».

Quelques universités marocaines ont fait recours à l'apprentissage par simulation dans leurs programmes de formation comme l'Université Mohammed VI des Sciences de la Santé à Casablanca, les facultés de médecine et de pharmacie de Fès, Marrakech, Tanger et de Oujda. Ces dernières ont pu développer des centres de simulation médicale dotés des mannequins d'haute-fidélité, des simulateurs virtuels et des équipements médicaux sophistiqués, utilisés pour simuler des interventions chirurgicales et médicales ainsi que des soins de réanimation ou encore des situations d'urgence. Ces structures sont mises à disposition des jeunes étudiants de médecine, des internes ainsi que des résidents.

Cependant, bien que ces centres aient été créés, ils n'organisent pas de workshops de simulation dédiés aux jeunes chirurgiens traumatologues, en particulier pour la microchirurgie de la main, et ce malgré les avancées technologiques disponibles.



Figure 13 : L'hôpital de simulation à la faculté de médecine de pharmacie et de médecine dentaire de Fès

Dans le cadre de notre travail de thèse, il est important de souligner que la formation en microchirurgie de la main traumatique n'est pas systématiquement intégrée dans le cursus des médecins résidents en traumatologie du Maroc. Actuellement, il n'existe pas de programme de formation spécialisé pour maîtriser cette technique, bien que les traumatismes de la main constituent un motif de consultation très fréquent aux urgences. Le recours à un modèle de formation par simulation semble être une solution prometteuse pour combler cette lacune. La simulation permet aux résidents d'évoluer dans un environnement contrôlé où ils peuvent développer et affiner leurs compétences en microchirurgie de la main, s'entraîner sans risque pour les patients et maîtriser des techniques essentielles telles que les sutures nerveuses et vasculaires, indispensables pour une prise en charge chirurgicale efficace.

IV. La microchirurgie en traumatologie et concept de la simulation en santé

1. La microchirurgie en traumatologie

1.1 Rappel : la microchirurgie

La microchirurgie est une technique de pointe en chirurgie, qui utilise un microscope opératoire et des instruments spécialisés. On peut résumer ses éléments essentiels par les "trois M" : microscope, micro-instruments et microsutures. Ces outils permettent au chirurgien de travailler sur des structures minuscules, comme de très petits vaisseaux sanguins ou des nerfs, favorisant ainsi des interventions qui étaient auparavant impossibles.

1.2 Le microscope

Pour une utilisation laboratoire, le microscope doit permettre un grossissement jusqu'à 40 fois. La distance focale, qui correspond à la distance nécessaire entre l'objet observé et l'objectif de microscope, pour être au point, doit être entre 20 à 25 cm. Le tube binoculaire est oblique à 45°.



Figure 14 : Loupe binoculaire chirurgicale

1.3 La boîte d'instruments

Parmi les instruments de microchirurgie on cite :

Deux pinces de Dumont :

- La pince n°3 (la plus épaisse) est utilisée pour la dissection.
- La pince n°5 est réservée pour l'anastomose.

Une porte aiguille d'OBREIN :

Grace à ses bouts, il épouse parfaitement la courbure de l'aiguille

Une paire de ciseaux d'OBREIN :

Il est conseillé pour un usage au laboratoire d'avoir une paire de ciseaux avec des lames courbes et des bouts mousses. La courbure des lames permet une dissection sans changement de la position des mains et une bonne vision des plans de clivage, les extrémités mousses minimisent les risques de plaies vasculaires. La

section du vaisseau se fait en utilisant le segment droit situé près de l'intersection des lames, une plaie de ciseaux de Dowell avec une lame droite et des extrémités pointues est possible.

Les clamps micro vasculaires

Il existe plusieurs types de clamps micro vasculaires qui peuvent être simples ou doubles. De même la surface et la tension de clampage sont variables. Pour un bon usage, un clamp doit être suffisamment solide, facile à utiliser et surtout atraumatique. Les clamps à pression fixe sont relativement faciles à manipuler mais ils perdent avec l'usage leur qualité de serrage. L'usage des clamps à pression variable nécessitent un certain entraînement pour apprécier la qualité de serrage. Un clamp double de GILBERT et deux clamps simples d'IKUTA sont en général suffisants pour un usage au laboratoire.

Autres instruments

a. Pour les anastomoses :

- Un clamp plastifié coloré (vert)
- Une pince bipolaire (facultative)
- Une seringue de 20ml + une aiguille tronquée.
- Des tampons et des cotons tiges mouillés.

b. Pour les incisions des voies d'abord :

- Un bistouri
- Une pince à disséquer
- Une paire de ciseaux
- Plusieurs écarteurs
- Une porte aiguille
- Un fil de suture



Figure 15 : instruments de la microchirurgie

1.4 Les fils et les aiguilles :

Le matériel de suture en microchirurgie doit être fin, de type mono filament, résorbable ou non avec une référence variante de 8/0 au 11/0

Les fils non résorbables sont utilisés en microchirurgie vasculaire et nerveuse, ainsi avec du mono filament noir en nylon 10/0 on arrive à faire la plupart des micros sutures vasculaires et nerveuses périphériques. Il n'y a pas d'indication clinique d'une suture avec un fil plus fin que le 11/0. En microchirurgie vasculaire, on utilise des aiguilles possédant un corps rond et une courbure de 3/8eme de cercle. Il est préférable de choisir une aiguille dont le diamètre se rapproche le plus du diamètre du fil. Le choix est fonction du diamètre du vaisseau à anastomoser.

Tableau 5 :choix de fil en fonction de diamètre de vaisseau

| Diamètre du vaisseau | Référence du fil | Diamètre du fil | Diamètre de l'aiguille |
|-----------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------------|
| D > à 2 mm | 9/0 | 35µm | 100µm |
| 1 mm < D < 2 mm | 10/0 | 17µm | 70µm |
| D < 1 mm | 11/0 | 14µm | 50µm |

L'évolution majeure en microchirurgie a été la capacité à réaliser des anastomoses vasculaires et nerveuses – c'est-à-dire la connexion chirurgicale de vaisseaux ou de nerfs – de calibre extrêmement réduit. Cette avancée a permis des pratiques révolutionnaires, comme le transfert de tissus d'une région corporelle à une autre ou la réimplantation de membres ou d'autres parties sectionnées (25). En 1965, Komatsu and Tamai de l'Université médicale de Nara au Japon ont rapporté la première réimplantation au monde d'une amputation complète d'un doigt au niveau métacarpophalangien du pouce en utilisant les techniques de micro anastomoses vasculaires (26).

Grâce aux progrès techniques et à l'expérience acquise, la microchirurgie s'est étendue ensuite à de multiples spécialités médicales, comme :

Ophtalmologie : notamment dans les interventions délicates sur l'œil (chirurgie de cataracte, de la rétine)

Orthopédie : pour la réparation des tendons et ligaments fins, réparation des lésions vasculaire et nerveuse

Gynécologie : par exemple dans les reconstructions tubaires,

Oto-rhino-laryngologie (ORL) : pour des interventions dans les régions sensibles de l'oreille, du nez et de la gorge,

Neurochirurgie : pour des interventions au niveau des nerfs et de la moelle épinière,

Chirurgie orale et maxillo-faciale : pour la reconstruction des tissus de la face,

Chirurgie plastique : dans des contextes de reconstruction et d'esthétique.

2. Techniques utilisées en microchirurgie :

2.1 La réparation artérielle :

La technique de réparation artérielle en microchirurgie est une intervention complexe et précise, essentielle pour rétablir la circulation sanguine dans les vaisseaux endommagés à la suite d'un traumatisme ou d'une amputation. Le succès de cette technique repose non seulement à rétablir la continuité vasculaire mais également à restaurer la fonction du membre affecté

La technique de réparation artérielle passe par l'ensemble des étapes suivantes (27) :

- Préparation des Extrémités Artérielles :

La première étape consiste à repérer et disséquer les extrémités du vaisseau endommagé. Cette préparation est réalisée avec des pinces fines sans griffe pour éviter de traumatiser davantage le vaisseau. La dissection doit être minutieuse pour obtenir une longueur suffisante de chaque extrémité du vaisseau, qui est ensuite stabilisée à l'aide d'un clamp (ou pince de serrage). Pour cette phase, un clamp de

Tamai, spécialement conçu pour la microchirurgie avec un déploiement maximal, est utilisé afin de permettre une manipulation facilitée sans comprimer excessivement le vaisseau. Cette disposition permet une manipulation aisée des extrémités sans déformer la paroi vasculaire.

- **Adventicectomie :**

L'adventicectomie consiste à enlever l'adventice, c'est-à-dire la couche externe du vaisseau, afin de préparer une zone de suture propre et lisse. Cette étape est réalisée en utilisant des micro-ciseaux et en saisissant l'adventice près de la tranche de section. Une traction douce est appliquée le long de l'axe du vaisseau, permettant une découpe nette et perpendiculaire à l'axe vasculaire. L'adventice est ensuite laissée libre pour se rétracter naturellement. Cette procédure est essentielle car elle facilite la cicatrisation en créant une zone propice à l'adhérence des tissus.

- **Dilatation et Lavage de la Lumière Vasculaire :**

Après l'adventicectomie, la lumière (ouverture interne du vaisseau) peut rester partiellement colabée, souvent en raison de l'écrasement lié à l'intervention. Une étape de dilatation est donc nécessaire pour restaurer la béance de la lumière. Cette action est réalisée en utilisant deux pinces fines qui appliquent une traction équatoriale pour élargir progressivement l'ouverture du vaisseau. Une fois la lumière restaurée, celle-ci est abondamment rincée avec une solution de sérum hépariné, ce qui aide à prévenir la formation de caillots et maintient la lumière du vaisseau libre pour une circulation sanguine fluide.

➤ **Suture Termino-terminale Artérielle :**

La suture termino-terminale consiste à joindre directement les deux extrémités du vaisseau pour rétablir la continuité de la circulation. Cette suture

directe est privilégiée lorsque les conditions locales le permettent et quand la tension au niveau du vaisseau n'est pas excessive. Pour les vaisseaux de faible calibre, comme ceux des doigts, des points de suture doivent être placés avec une extrême précision pour éviter de comprimer ou de déformer la lumière. La technique consiste à poser un premier point postérieur à « 6 heures » (à l'arrière du vaisseau) puis un point antérieur à « 0 heure » (à l'avant), assurant une répartition symétrique de la tension.

Une fois ces points de base en place, les héli-circonférences latérales sont suturées. Cette méthode limite les manœuvres de torsion du vaisseau et permet un contrôle visuel permanent de la lumière pendant la suture. Deux points supplémentaires sont placés de chaque côté, totalisant six points pour une artère de taille moyenne. Ce processus est répété jusqu'à ce que la suture soit complète, tout en contrôlant la tension pour éviter de compromettre la circulation.

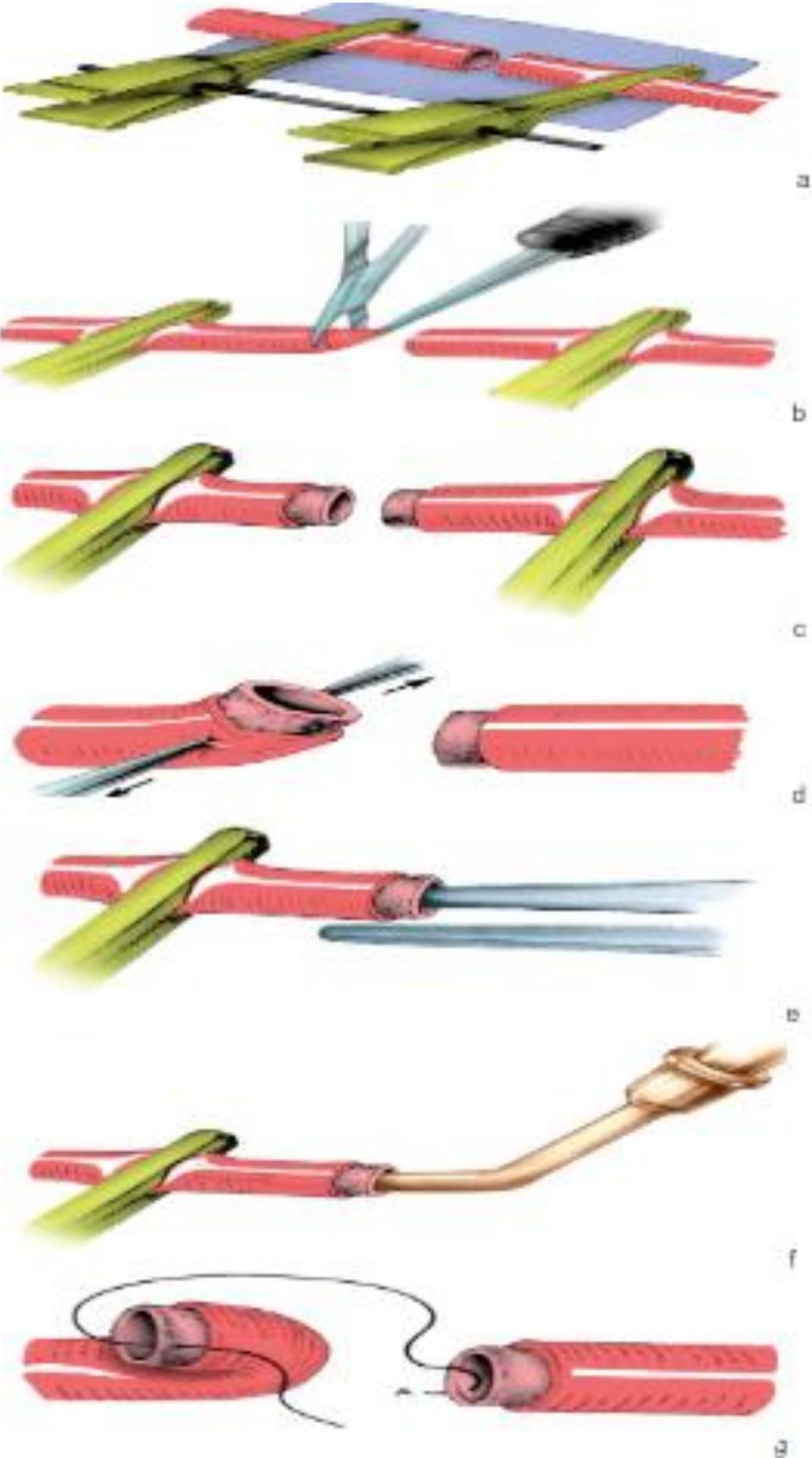
- Contrôle des Points et Prévention des Erreurs :

La suture des vaisseaux de très petit calibre exige un contrôle rigoureux pour éviter la transfixion (percement involontaire de la paroi opposée du vaisseau par les points de suture). Pendant la pose des derniers points, un fil tracteur est parfois laissé en place pour permettre une vérification finale de l'alignement et de la bonne fermeture des héli-circonférences.

➤ **Suture Termino-latérale (Optionnelle) :**

En cas de besoin, une suture termino-latérale peut être réalisée, notamment lors d'un pontage vasculaire destiné à restaurer la circulation dans une zone spécifique, comme le pouce. Cette suture consiste à fixer un vaisseau réparé à la paroi latérale d'un autre vaisseau, permettant de détourner le flux sanguin. La

technique est effectuée progressivement pour fermer la paroi postérieure de l'anastomose, permettant de vérifier la lumière jusqu'à la pose du dernier point.



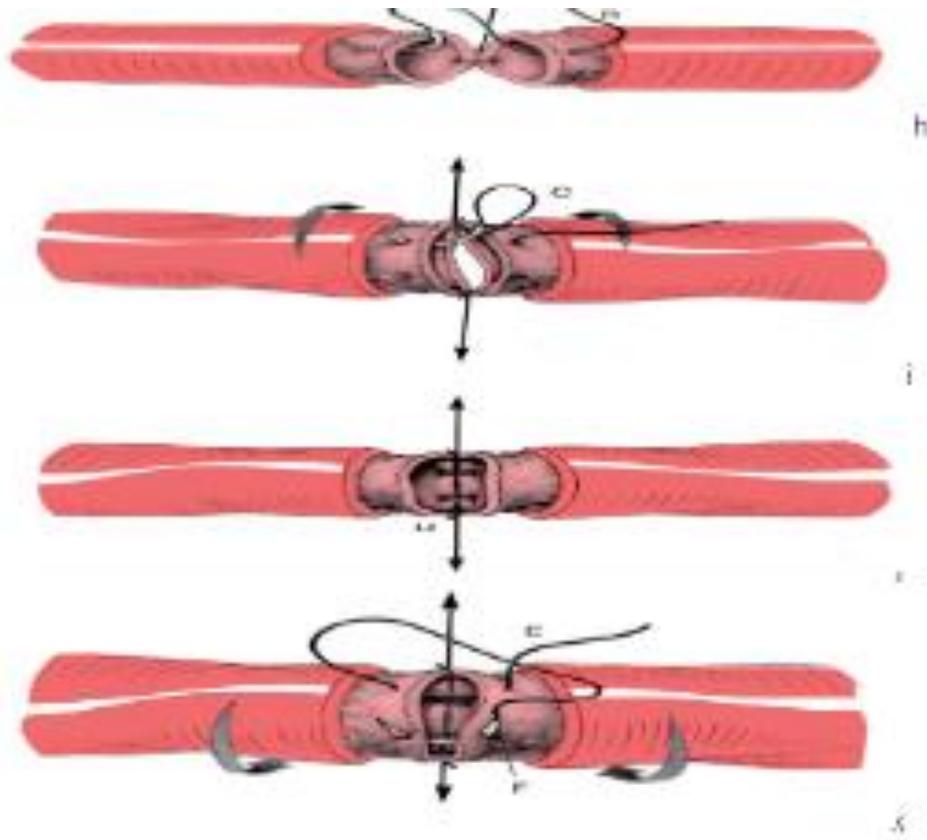


Figure 16 : réalisation d'une anastomose termino terminale

a. Installation du vaisseau sur le microclamp double de Tamai.

Une distance « X » doit persister entre les deux extrémités vasculaires pour faciliter le passage des points.

b. Adventicectomie.

c. Aspect au terme de l'installation et de l'adventicectomie.

d. Traction « équatoriale » pour obtenir la béance luminale.

e. Dilatation utilisant la pince à disséquer sans griffe.

f. Lavage au sérum hépariné de la lumière vasculaire.

g. Passage du premier point équatorial à « 6 heures » (A).

h. Passage du deuxième point antérieur à « 0 heure » (B).

i. Complément de suture antérieure. La traction sur les fils guides a et b expose

l'hémicirconférence antérieure. Les points de suture C et D sont mis en place.

j. Inversion du sens de traction des fils pour exposer.

k. L'hémicirconférence postérieure. Passage des deux points E et F.

L'aiguille est

mise en place pour la réalisation du point F avant de réaliser le nœud du point E.

2.2 La réparation nerveuse :

Rappel anatomique :

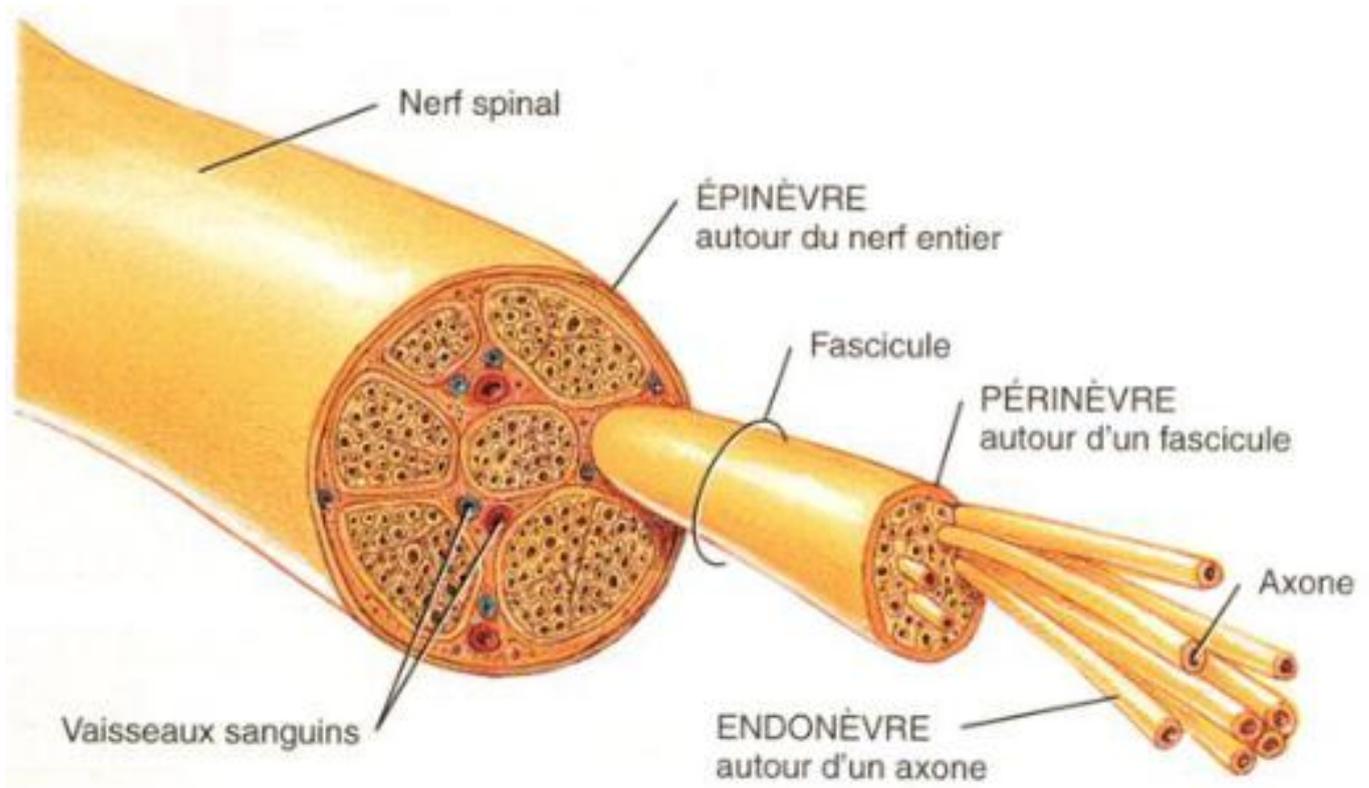


Figure 17 : Anatomie du nerf périphérique

Tableau 6 : classification des lésions nerveuses (8) (9) (10)

| Seddon(1943) | Sunderland | Lésions anatomique | Récupération |
|--------------|------------|--|-----------------------------|
| Neuropraxie | Degré 1 | Atteinte de la myéline | Complète et rapide |
| | Degré 2 | Atteinte de l'axone (A) | Complète et lente (1 mm/jr) |
| Axonotmésis | Degré 3 | Atteinte de l'axone et épinérve (A+E) | Possible mais partielle |
| | Degré 4 | Atteinte de l'axone, épinérve et périnérve (A+E+P) | Aucune |
| Neurotmésis | Degré 5 | Section nerveuse | Aucune |

La réparation nerveuse fait appel à différents techniques selon le type des lésions notamment :

- Suture directe
- Neurolyse
- Greffe nerveuse

La suture directe est appliquée pour toute intervention sur une section nerveuse, qu'elle soit complète ou partielle, en veillant à préserver l'intégrité de la structure nerveuse et à éviter toute perte de substance. L'intervention se déroule sous garrot pneumatique, anesthésie plexique ou générale, pour garantir un contrôle optimal de la douleur et de l'hémorragie.

Le premier temps opératoire consiste à préparer les extrémités nerveuses et à nettoyer soigneusement la plaie. Ensuite, une dissection des extrémités nerveuses

est réalisée sur une courte distance, d'environ 1 cm, sans dissection intranerveuse, afin d'éviter tout risque de dévascularisation ou de fibrose.

Puis, les tranches de section nerveuse sont lavées avec une solution de Ringer, en évitant le sérum physiologique qui pourrait provoquer une décalcification du nerf. Un examen au fort grossissement des extrémités nerveuses permet de repérer et de réséquer toute zone de contusion localisée ainsi que tout tissu intraneural herniant dans les tubes périneuraux. Il est également essentiel de régulariser l'épinèvre à l'aide de ciseaux de microchirurgie pour prévenir toute invagination.

Enfin, l'affrontement des tranches nerveuses et leur suture doivent être effectués avec les articulations en position d'allongement et sous une tension physiologique, afin de garantir une régénération optimale et de minimiser les risques de complications postopératoires (28).

Il existe différent type de suture nerveuse :

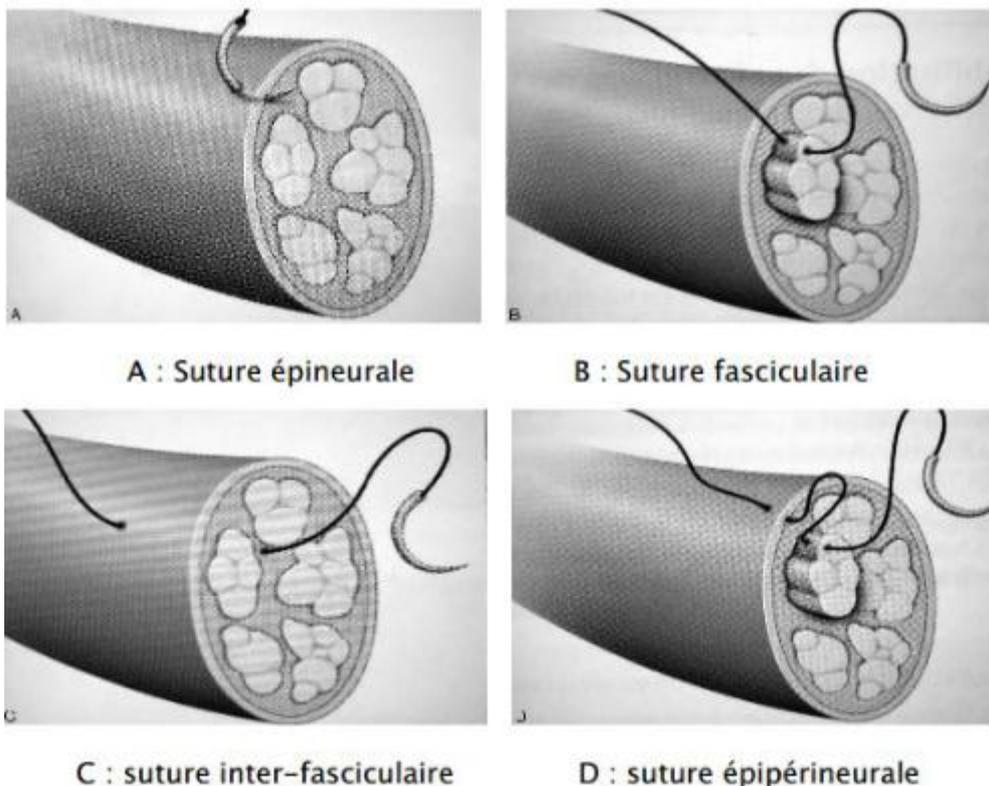


Figure 18 :les types de sutures nerveuses

3. La microchirurgie en traumatologie :

En Traumatologie, la microchirurgie est particulièrement cruciale car elle contribue à la restauration de la fonction des tissus délicats : Dans les traumatismes complexes, les nerfs, les vaisseaux et tendons peuvent être gravement lésés, ce qui entraîne des pertes de sensibilité, de mouvement, ou des risques de nécrose tissulaire due à l'absence de circulation sanguine. La microchirurgie permet de réparer ces éléments avec une précision qui rétablit le flux sanguin et la conduction nerveuse, essentiels pour la guérison et la récupération fonctionnelle. Elle rend possible aussi la préservation de l'intégrité des membres en cas de blessures

graves, telles que des amputations partielles ou complètes des doigts ou des membres, la microchirurgie est essentielle pour tenter une réimplantation.

Une étude rétrospective descriptive a été faite concernant 14 patients pris en charge au service de traumatologie-orthopédie B au CHU Hassan II de Fès pour traumatisme de la main avec dévascularisation digital. Les patients ont été opérés selon le procédé classique de revascularisation digitale par ostéosynthèse et microchirurgie incluant les procédés de réparation artérielle par suture vasculaire termino terminale ou termino latérale, réparation nerveuse par suture, réparation veineuse et réparation des tendons ...). Huit revascularisations digitales ont favorablement évolué sans reprise chirurgicale et sans complications secondaires précoces et tardives. Le résultat final de la revascularisation a été conditionné par non seulement les circonstances de survenue mais aussi les techniques chirurgicales (29).

D'après cette étude, nous concluons à l'importance primordiale de la microchirurgie dans le domaine de la chirurgie traumatologique. La maîtrise des différentes techniques microchirurgicales s'avère essentielle pour optimiser la prise en charge des patients.



Figure 19 : Cas d'un patient de l'étude précédemment décrite victime d'accident de travail en pré opératoire (a) , post opératoire (b) et le résultat fonctionnel après 6mois (c)

4. Concept de la simulation en santé

4.1 Définitions :

La simulation est défini dans le Dictionnaire Larousse 2024 par « *Représentation du comportement d'un processus physique, industriel, biologique, économique ou militaire au moyen d'un modèle matériel dont les paramètres et les variables sont les images de ceux du processus étudié* » (30). Son homologue anglais le Cambridge Dictionary propose pour la simulation (a simulation) la définition suivante : « *un modèle d'une activité réelle, créé à des fins de formation ou pour trouver une solution à un problème* ».

La simulation peut donc avoir plusieurs définitions en fonction de son domaine d'application (aviation, militaire, industrie, relationnel...). Ainsi, pour le domaine de la santé, deux concepts majeurs s'en suivent : la simulation en santé et l'enseignement par simulation.

Pour le premier concept, la Haute Autorité de Santé (HAS) apporte plus de précisions en définissant la simulation en santé dans son rapport de 2012 comme étant « *l'utilisation d'un matériel (mannequin ou simulateur procédural), de la réalité virtuelle ou d'un patient standardisé pour reproduire des situations ou des environnements de soin, dans le but d'enseigner des procédures diagnostiques et thérapeutiques et de répéter des processus, des concepts médicaux ou des prises de décision par un professionnel de santé ou une équipe de professionnels* » (24).

Pour le 2^{ème} concept, l'enseignement par simulation ou simulation-based medical education (SBME) en anglais, est défini comme toute activité pédagogique faisant appel à des outils de simulation pour reproduire des scénarios cliniques

Cette méthode d'apprentissage permet aux étudiants de s'entraîner dans un environnement sécurisé en utilisant des simulateurs ou des acteurs à la place de vrais patients. Cela offre une expérience immersive où les formateurs peuvent recréer des situations médicales réalistes, donnant aux futurs soignants la possibilité de s'exercer sans risque, tout en se rapprochant des défis qu'ils rencontreront dans leur pratique quotidienne (31). L'apprentissage par la simulation offre une approche innovante axée sur la pratique, venant enrichir et compléter les connaissances acquises lors des expériences cliniques réelles, tant pour les étudiants en médecine, internes, ou des résidents.

4.2 Historique :

4.2.1 Origine de la simulation médicale :

L'histoire de la simulation médicale remonte à plusieurs siècles, bien avant l'avènement des technologies modernes, et témoigne de l'ingéniosité des méthodes d'enseignement en sciences de la santé.

Dès le XI^e siècle en Chine, le médecin Wang Wei-Yi (987-1067) a développé des modèles en bronze qui ont été utilisés pour l'enseignement de l'acupuncture. Ces simulateurs détaillés représentaient les points d'insertion des aiguilles, permettant aux apprentis médecins de s'entraîner de manière sécurisée avant d'intervenir sur des patients réels. Il est supposé que ces modèles étaient enduits de cire et remplis d'un liquide, de manière à ce que l'émission d'une goutte lors du retrait de l'aiguille signale que l'apprenti avait correctement localisé le point (32).



Figure 20 : Une statue en bronze montrant les points d'acupuncture

En Europe, l'un des premiers mannequins utilisés pour l'enseignement en santé remonte au XVIII^e siècle. Madame Angélique Du Coudray (1712–1794), une sage-femme française, a conçu un mannequin représentant un bassin féminin avec un bébé, permettant de pratiquer diverses manœuvres obstétricales (33). Sous la commande de Louis XV, qui lui octroie en 1759 un brevet royal et une pension, Angélique Du Coudray parcourt la France pour dispenser des cours d'obstétrique

basés sur la simulation. Grâce à ses formations, environ 5 000 sages-femmes ont appris à utiliser ce mannequin, contribuant ainsi à une réduction significative de la mortalité infantile à l'échelle nationale.



Figure 21 : Mannequin d'obstétrique réalisé par Angélique Du Coudray

Au XIXe siècle, l'utilisation des simulateurs en médecine a connu une évolution remarquable, marquée par l'essor de modèles anatomiques sophistiqués, réalisés à partir de matériaux variés comme la cire, le bois et l'ivoire. Les artistes et modeleurs médicaux de Florence, en Italie, ont été parmi les pionniers de cette technique. La célèbre collection de La Specola, initiée par Felice Fontana, comprenait des représentations réalistes du corps humain, incluant des organes internes, des muscles, et même des systèmes complets. Ces modèles étaient destinés principalement à l'enseignement de l'anatomie et de la chirurgie (34).

Au cours de XXe siècle, l'utilisation des simulateurs était en baisse en raison de la préférence pour l'apprentissage direct sur des patients, ce qui a souvent entraîné des erreurs médicales (34) .Cependant, à partir des années 1950, le premier simulateur procédural Resusci-Anne a été développé par la société Laerdal dans les années 1950 . Ce mannequin a été créé suite à la publication d'une étude sur l'efficacité du bouche-à-bouche (35) afin de permettre l'apprentissage et la maîtrise de cette technique de réanimation. Dans une version ultérieure de ce simulateur, un mécanisme à ressort intégré au thorax aurait permis également de simuler des compressions thoraciques.



Figure 22 : Asmund Laerdal avec le simulateur Resusci-Anne

4.2.2 Avènement des simulateurs informatiques et robotiques :

À la fin des années 1960, l'ingénieur Stephen Abrahamson et le médecin Judson Denson unissent leurs compétences pour développer le premier mannequin médical contrôlé par ordinateur, appelé Sim One (Figure 23).

Sim One, l'un des premiers mannequins de simulation médicale était contrôlé par un ordinateur hybride numérique et analogique. Son visage était animé par des caractéristiques réalistes : il pouvait cligner des yeux, afficher des pupilles dont la taille variait en fonction des stimuli lumineux, et possédait une mâchoire mobile. Au niveau thoracique, le mannequin reproduisait des mouvements respiratoires et un battement cardiaque palpable, synchronisé avec des pouls carotidiens et temporaux. Il permettait aussi une mesure de la pression artérielle, offrant ainsi une expérience de simulation immersive et interactive. En outre, Sim One pouvait réagir à l'administration de certains médicaments, simuler des changements physiologiques en conséquence et permettre des interventions de base pour la prise en charge des voies respiratoires (36). Malheureusement ce mannequin n'a pas réussi à obtenir l'adhésion attendue. Un seul exemplaire a été construit car la technologie informatique utilisée était trop coûteuse pour permettre une commercialisation à son époque. Cependant ce modèle précurseur a inspiré les mannequins haute-fidélité modernes.



Figure 23 : Stephen Abrahamson (assis) et Dr Judson Denson avec Sim One

Une autre avancée majeure dans le domaine de la simulation a eu lieu en 1968, lorsque Michael Gordon a introduit **Harvey®**, un simulateur-patient cardiopulmonaire. Ce simulateur est capable de reproduire vingt-sept pathologies cardiaques, en modifiant divers paramètres comme l'auscultation, la pression artérielle et le pouls. Il est toujours utilisé aujourd'hui dans de nombreuses facultés de médecine à travers le monde (36).



Figure 24 : Dr. Michael Gordon avec le simulateur Harvey

4.2.3 Expansion de la Simulation haute-fidélité (HSF) et l'intégration de la réalité virtuelle :

Il y a eu de nombreuses discussions concernant la définition complète de la simulation haute-fidélité dans la formation médicale. Cough & al l'avait définie comme la recreation d'une tâche, d'un événement ou d'une expérience réelle, offrant un environnement d'apprentissage sécurisé pour l'acquisition de compétences, de connaissances, d'attitudes et de comportements (37). Elle comprend aussi des activités telles que les jeux de rôle ou les tâches de travail en équipe, l'utilisation de mannequins , et l'utilisation de simulateurs informatiques. (38). En l'an 2000, Laerdal Medical (qui a développé le simulateur Resusci-Anne) a

fait son entrée sur le marché avec le simulateur SimMan, marquant ainsi la création d'une vraie industrie qui ne cesse d'évoluer. Ce dernier est un système de simulation patient qui facilite la formation aux techniques de réanimation avancées et de base.

La première séance d'enseignement par simulation médicale haute-fidélité à Casablanca a démarré le 19 février 2009. Une salle de 80 m² a été dédiée au sein du SAMU de Casablanca pour dispenser ce type d'enseignement. Le public-cible était principalement constitué d'internes, résidents, étudiants en médecine, infirmiers et techniciens ambulanciers. Sur les 2 premières années de fonctionnement, 368 personnes avaient bénéficié d'une formation par simulation médicale. (39)

Par la suite l'avènement de la réalité virtuelle (RV) a révolutionné le domaine de la simulation médicale permettant aux professionnels de la santé d'acquérir des compétences essentielles, de diagnostiquer et de prendre des décisions critiques de manière plus réaliste. Les interfaces de simulation en RV peuvent inclure un clavier et une souris, ou une interface tactile permettant de simuler des objets tels que des manches d'instruments, des seringues, des laryngoscopes, des médicaments, des solutions injectables, etc.



Figure 25 : La réalité virtuelle comme moyen de simulation médicale

Bien qu'à l'origine la simulation ait été principalement utilisée dans les domaines de l'anesthésie et de la réanimation, elle s'est progressivement étendue à d'autres spécialités, telles que la médecine d'urgence, la pédiatrie, l'obstétrique et particulièrement les disciplines chirurgicales comme la chirurgie traumatologique (40) .

4.2.4 Particularités : La simulation en chirurgie traumatologique et orthopédique :

Depuis le 16^{ème} siècle, la formation sur cadavre ou sur le modèle animal a occupé une place centrale dans l'enseignement des chirurgiens traumatologues. Cette méthode offrait l'avantage unique d'exposer les apprenants à une anatomie réelle, bien que la validité varie selon que le cadavre soit frais ou embaumé. Cependant, elle présente plusieurs inconvénients majeurs, tels que des coûts

élevés, des difficultés d'approvisionnement, des contraintes liées à l'utilisation répétée d'un même cadavre, ainsi que le risque de transmission de maladies (41). Face à ces limites, des alternatives ont été développées au cours de la seconde moitié du 20^e siècle, notamment l'utilisation de modèles osseux synthétiques ou en plastique. Ces modèles, uniformes en taille, forme et densité, offrent une solution pratique et économique, car ils ne nécessitent ni techniques de stockage spéciales ni approbations éthiques. De plus, leur capacité à être modélisés dans différentes formes les rend adaptés au développement des compétences chirurgicales de base (42).

Parallèlement, les progrès rapides des technologies informatiques ont introduit des outils chirurgicaux informatisés et des simulateurs logiciels dans la formation orthopédique. Ces simulateurs permettent de recréer, dans un environnement virtuel en 3D, toutes les étapes d'une procédure chirurgicale. Ils offrent aux apprenants une expérience immersive et interactive, sans les risques ou contraintes associés à l'utilisation de cadavres. Bien que ces nouvelles méthodes aient considérablement amélioré l'accessibilité et la sécurité de la formation, elles présentent certaines limites, notamment en termes de réalisme et de reproduction exacte des variations anatomiques. Néanmoins, la combinaison de ces approches modernes avec des techniques traditionnelles pourrait constituer un équilibre optimal pour former efficacement les chirurgiens traumatologues (43).

4.3 Les bases de simulation en santé : particulièrement en chirurgie traumatologique et orthopédique :

La simulation a été largement utilisée dans le domaine de chirurgie afin de permettre au future chirurgiens d'acquérir des compétences pratiques et techniques de manière progressive et sécurisée, sans risques pour les patients. Il existe des outils et méthodes de base d'apprentissage par simulation dans ce domaine. Les bases de la simulation dans le domaine de chirurgie traumatologique et orthopédique rejoint celles de la simulation en santé en général qui repose sur trois dimensions essentielles : le cadre descriptif, les modalités, et l'environnement. Après une analyse initiale des besoins et des attentes des apprenants, il devient possible de définir des objectifs d'apprentissage plus précis. L'éducateur peut ensuite organiser l'activité de simulation en tenant compte des exigences spécifiques nécessaires à sa mise en œuvre (44) .

Le cadre descriptif :

Le cadre descriptif structure le déroulement d'une séance de simulation, qui peut aller d'une simple station d'apprentissage de gestes techniques tels que faire un nœud ou suturer une plaie contaminée, à un scénario complexe simulant un accident de la route avec plusieurs victimes, incluant une situation de choc hémorragique causé par une fracture de fémur par exemple.

Le cadre descriptif prend également en compte le facteur temps. Selon les objectifs d'apprentissage, un scénario peut se concentrer sur la reconnaissance et la gestion d'un traumatisme de la main, fracture ouverte de la jambe par exemple, ou englober un parcours complet, depuis le triage sur le lieu de l'accident jusqu'à

la stabilisation du patient aux urgences avant son transfert à l'équipe chirurgicale ou aux soins intensifs (44).

Ainsi, trois principaux éléments sont à prendre en considération pour le cadre descriptif :

➤ *Public cible ou les apprenants* : qui peut être un seul ou un groupe d'individus, de même discipline ou de disciplines différentes, du même niveau ou de degrés d'expériences différents.

➤ *Educateur ou formateur* : qui est un instructeur formé à la pédagogie d'enseignement par simulation, responsable de l'élaboration du scénario de simulation, du déroulement de la séance ainsi que de la validation des objectifs pédagogiques à la fin de l'activité.

➤ *Scénario et session de simulation* :

➤ *Scénario* : qui est la description d'une session de simulation incluant les objectifs pédagogiques, les points de débriefing, le déroulement de la session, les ressources humaines, matérielles (simulateurs, accessoires...) afin de permettre une vue d'ensemble de l'enchaînement des séquences pédagogiques de la formation. (45)

➤ *Session de simulation* : qui se déroule habituellement en 3 étapes, à savoir le briefing (préparation de l'apprenant à l'activité de simulation), la mise en situation (pratique simulée) et le débriefing (feedback formateur-apprenant)

Les modalités :

Les simulations en formation pédagogique, en particulier dans les domaines techniques et chirurgicaux, se divisent en deux catégories principales : la

simulation organique et la simulation non organique, chacune avec ses spécificités et ses applications en fonction des objectifs pédagogiques visés. On s'intéresse dans cette partie aux modalités de simulation dans le domaine de chirurgie traumatologique.

a- La simulation organique :

• La simulation Humaine : Sur être vivant ou sur cadavre

➤ *Les patients standardisés :*

Les patients standardisés (PS), ou simulés, sont tous aussi acceptés et largement utilisés dans l'enseignement par simulation que les méthodes précédentes. Les PS sont des personnes recrutées et formées afin de jouer le rôle de patients de manière cohérente et fiable. Lors d'une séance de simulation impliquant des PS, ces derniers jouent le rôle du patient et sont en mesure de présenter ses antécédents médicaux et de subir un examen physique.

Les réactions et les interactions du PS durant la séance de simulation peuvent être scénarisées afin d'assurer la standardisation des réponses et de garantir une évaluation équitable des apprenants participant à la séance de simulation. Les enfants peuvent également participer en tant que patient standardisé. Le but étant d'évaluer les interactions des apprenants avec ces enfants dans diverses situations ainsi que de mettre l'appui sur la différence de prise en charge. En traumatologie, des techniques de moulage peuvent être appliquées sur ces patients pour un effet plus réaliste (figure 26). Cependant cette modalité (la simulation humaine sur être vivant) ne permet pas l'apprentissage des techniques chirurgicales.



Figure 26 : Technique de moulage sur un patient standardisé simulant une gangrène

➤ *La dissection sur cadavre :*

Le cadavre humain demeure une référence incontournable pour la simulation chirurgicale en raison de la précision anatomique et de la fidélité des tissus qu'il offre. La pratique sur cadavre reste un outil essentiel pour l'apprentissage de l'anatomie, permettant de faire le lien entre les supports théoriques et la réalité tridimensionnelle de la structure anatomique (46).

Cependant, il est souvent difficile d'obtenir un cadavre frais permettant une dissection aussi réaliste que possible, et même dans ce cas, les conditions opératoires diffèrent naturellement de celles d'un organisme vivant. Ainsi que dans

notre contexte marocain cette pratique peut rencontrer des défis particuliers, notamment liés à l'accès aux corps et au cadre légal et culturel.

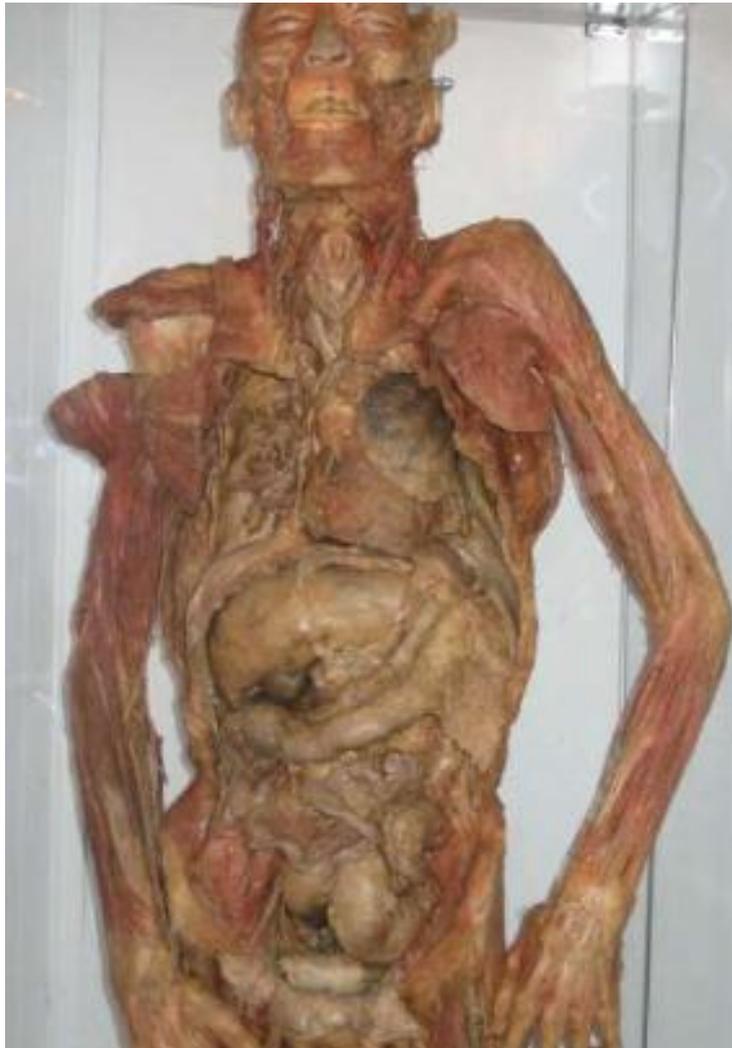


Figure 27 : corps plastiné exposé

- **La simulation animale :**

La simulation sur un modèle animal est un exercice plus proche de la réalité. Son but est de permettre la réalisation d'interventions chirurgicales dans les conditions d'autonomie opératoire. L'évolution sur la chirurgie vétérinaire ne peut

être séparée de celle de la chirurgie humaine car dans la plupart du temps, ce sont les mêmes scientifiques qui ont mis au point en premier abord des techniques chez l'animal avant de les transposer à l'homme (47) (48).

En 2006 , Kettler & Liakos ont examiné l'utilisation des modèles animaux, en particulier les colonnes vertébrales de veaux, porcs et moutons, pour des tests précliniques d'implants rachidiens dans l'espoir de remplacer les spécimens humains dans les tests de flexibilité et de charge cyclique (49).

Cependant l'anatomie animale ne correspond pas toujours parfaitement à celle de l'humain, mais la similitude des structures et la perception tactile qu'elles offrent en font un excellent support pour l'apprentissage des gestes complexes ou des séquences gestuelles (50).

Dans notre travail, nous avons pris le rat comme modèle animal car la texture de ses artères, notamment celle de l'aorte, est proche de celle des petites artères utilisées dans les lambeaux pédiculés en chirurgie humaine.

b- La simulation non organique :

- **La simulation synthétique :**

Elle se répartit en 2 principaux types de simulation : simulation de haute-fidélité représentée par des mannequins réalistes, représentant le patient en grandeur nature (adulte, enfant, nourrisson) et la simulation procédurale qui se limite généralement à une partie du corps.

➤ *Les simulateurs de patient corps entier : (figure 28)*

Ces simulateurs modernes inspirés des simulateurs créés par la société Laerdal à l'époque comme le SimOne et le SimMan sont conçus pour reproduire avec précision l'anatomie des patients à différents âges peuvent afficher des valeurs physiologiques et présenter des signes physiques, comme une fréquence cardiaque variable, la qualité du pouls, la pression artérielle, Ces différents signes peuvent être contrôlés à distance par un opérateur.



Figure 28 : Mannequin de simulation haute-fidélité adulte

➤ *Les simulateurs procéduraux (task-trainers) : (Figure 29)*

Les simulateurs procéduraux désignent des simulateurs d'une partie du corps destinés à enseigner des procédures et des techniques spécifiques.

L'utilisation de simulateurs procéduraux donne aux apprenants la possibilité de pratiquer à plusieurs reprises une technique spécifique jusqu'à ce qu'ils la maîtrisent. Le fait que ces simulateurs se concentrent exclusivement sur une tâche

précise comme par exemple la suture des plaies cutané (figure 29) permet aux formateurs de se consacrer à l'enseignement d'une seule technique spécifique ou de mettre en place plusieurs postes de simulation, avec un formateur différent pour chaque tâche, que les participants peuvent utiliser à tour de rôle afin de développer une variété de techniques.



Figure 29 : Task trainer utilisé pour apprendre la technique de suture des plaies cutanés



Figure 30 : jambe d'entrainement à la gestion d'hémorragie massive au cours des fractures de jambe

- *Les simulateurs de réalité virtuelle :*

Le développement de l'informatique et de la numérisation a permis de proposer des moyens d'entraînement opératoire de type chirurgie virtuelle pour éviter les préoccupations éthiques associées à la pratique sur les animaux ou les cadavres. Par ailleurs la simulation de réalité virtuelle permet un environnement plus flexible que celui créé par les modèles basse et haute-fidélité (51). Un système basé sur la VR peut être utilisé de manière répétée, et un programme de formation éducative systématique peut être entièrement intégré à ce système sans mettre en danger la santé des patients.

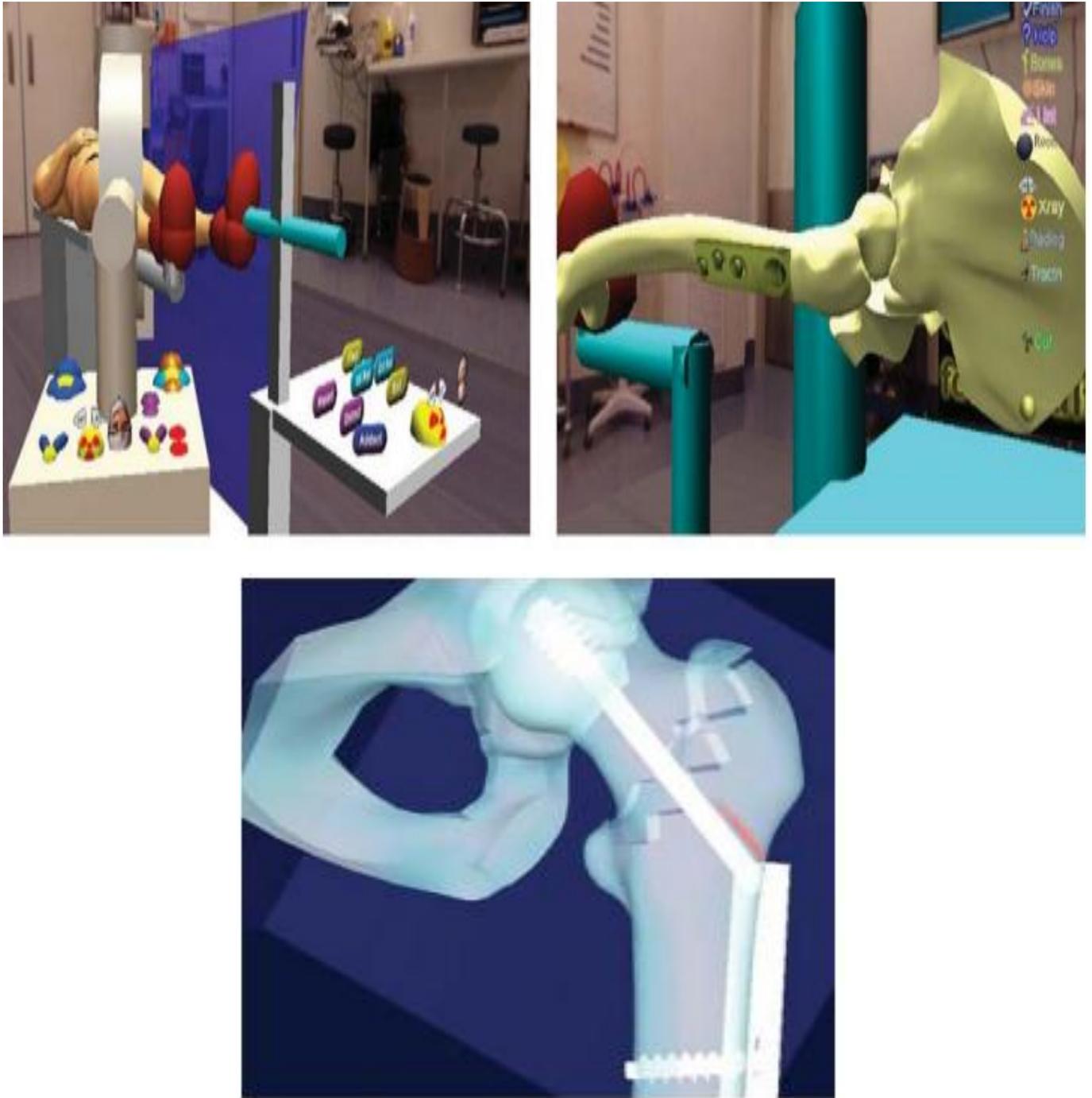


Figure 31 : simulateur de réalité virtuelle pour les fractures de fémur

Dr. Cheng et Pheng-Ann Heng ont publié en 2004 un article qui présente un système de formation en réalité virtuelle (VR) développé pour l'entraînement à l'arthroscopie du genou. Ce système permet une simulation réaliste des procédures arthroscopiques, en particulier pour la déformation des tissus et les changements topologiques lors des opérations, rendus en temps réel grâce à l'analyse par éléments finis (52).

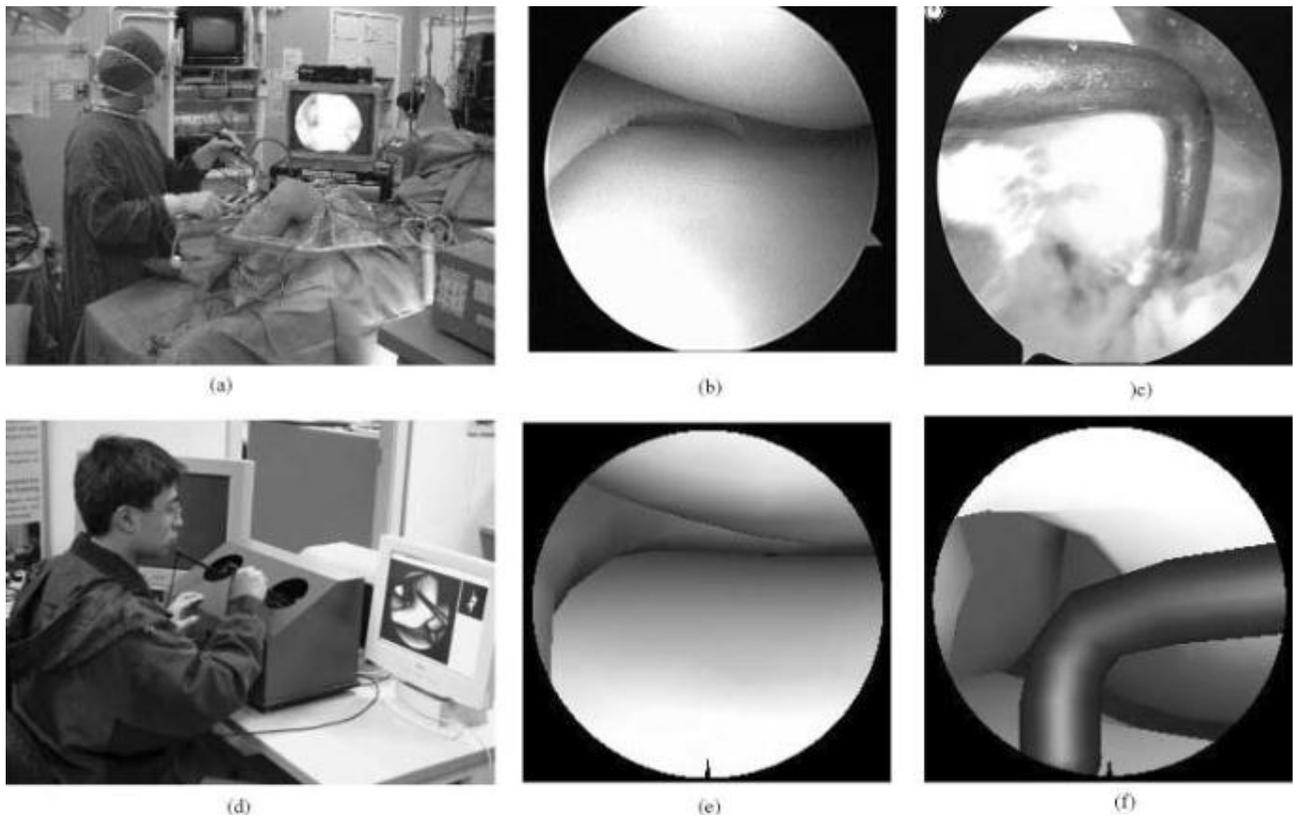


Figure 32 : Comparaison de la chirurgie arthroscopique réelle avec le système de chirurgie basé sur la réalité virtuelle : (a) Interface réelle pour la chirurgie arthroscopique du genou. (d) Interface haptique virtuelle à deux mains. (b) et (c) Captures d'écran réelles provenant de l'arthroscope du genou. (e) et (f) Vues simulées (49)

Ainsi définie, la simulation chirurgicale regroupe un ensemble très vaste de méthodes et de techniques qui sont résumées dans la figure suivante (figure 28) empruntée à CHINIARA (53)

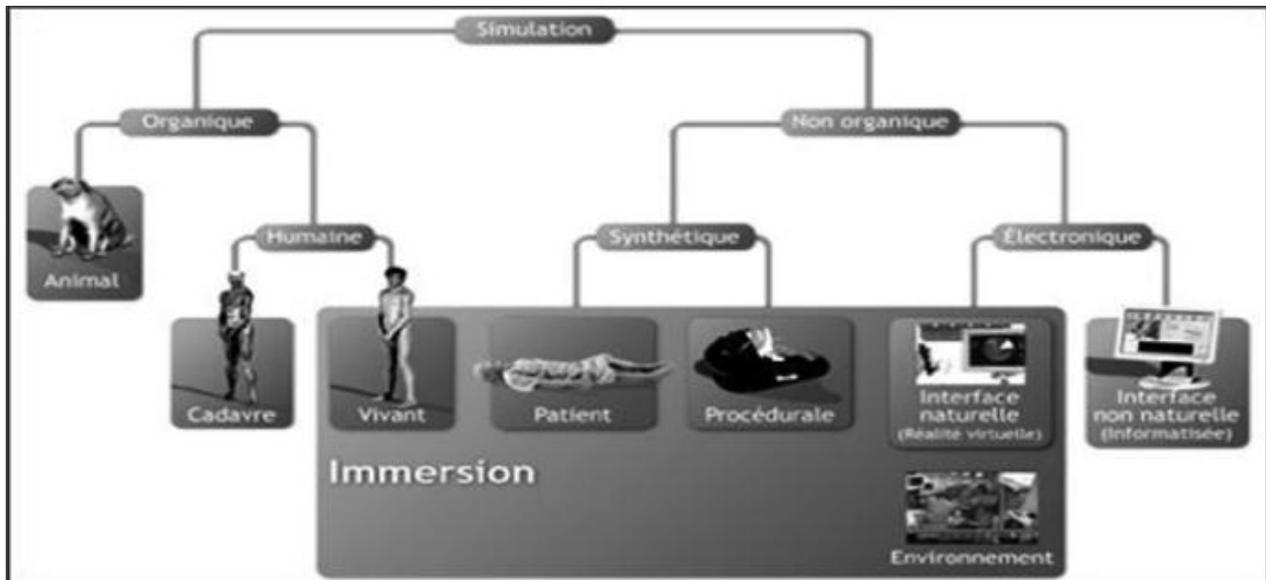


Figure 33 : Classification de simulateur chirurgical selon CHINIARA.

L'environnement :

Le plus souvent, les activités de simulation se déroulent dans un environnement qui reproduit le cadre réel, comme dans un centre de simulation, où généralement les problèmes de sécurité ne se posent pas. De plus, des salles d'enregistrement vidéo et de débriefing sont associées afin de faciliter la discussion et l'apprentissage.

Une simulation in situ consiste en une simulation dans des environnements hospitaliers réels, tels que les salles d'opération ou les urgences. Il convient de prendre en compte les aspects de sécurité, puisque ces environnements sont généralement équipés d'objets tranchants ainsi que d'un matériel de grande valeur. Par ailleurs, il faut faire attention à ne pas mélanger le matériel et l'équipement de formation avec ceux utilisés dans l'environnement hospitalier réel.

La réalité virtuelle de son côté, avec ses effets audio-visuels dans le cadre d'un scénario, comme une scène dans la rue, ou encore son environnement totalement immersif dans un jeux sérieux (figure 34), contribue également à enrichir davantage l'expérience d'apprentissage



Figure 34 Salle de surveillance vidéo d'un centre de simulation

Dans notre travail, la formation a été faite dans le laboratoire d'anatomie de la faculté de médecine et de pharmacie de Fès.

4.4 Objectifs et intérêt de la simulation chirurgicale :

Dans le cadre de la formation par simulation, les trois piliers de la pratique médicale : le savoir, le savoir-faire et le savoir-être que doit maîtriser tout professionnel de santé sont le pivot de la simulation.

L'amélioration de la qualité de soin constitue l'intérêt majeur de la simulation. En effet, la médecine moderne ne cesse de se développer sur tous les plans y compris diagnostique et thérapeutique mais surtout une transformation vers un nouvel concept pluridisciplinaire impliquant plusieurs intervenants. Par ailleurs, la pratique médicale devient un domaine à fortes exigences en qualité et d'efficacité. Pour atteindre ces objectifs une politique d'amélioration continue de la qualité des soins s'impose. Cette amélioration peut se faire selon le cycle PDCA. Les 4 étapes de ce processus PDCA se trouvent dans son nom : planifier (Plan), développer ou réaliser (Do), contrôler (Check) et agir ou ajuster (Act). Ce cycle commence par un objectif et se termine par une action (54) (55) .

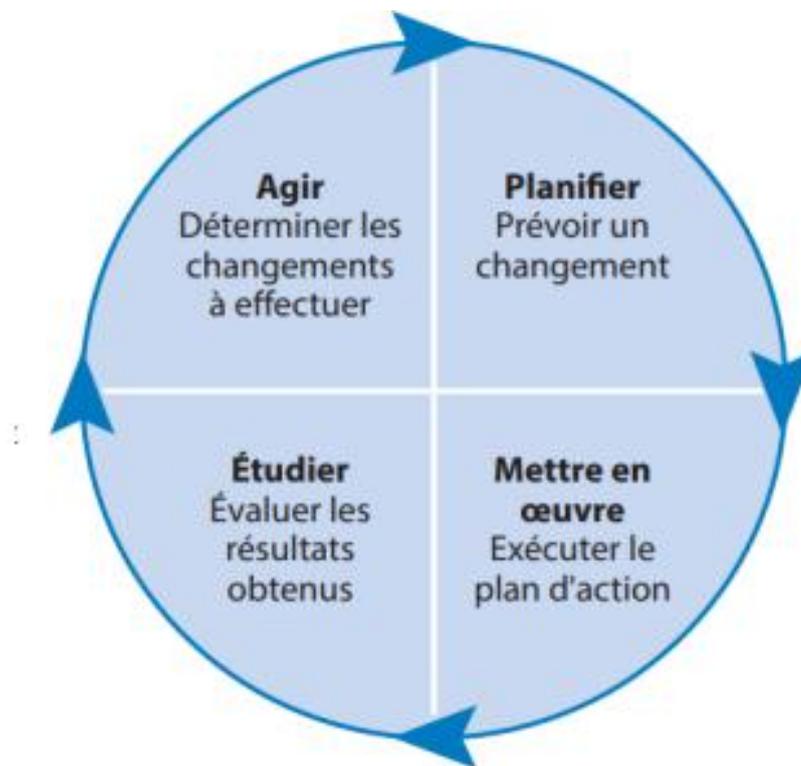


Figure 35 : cycle PDCA

Le domaine de chirurgie est particulier. Le geste chirurgical est très complexe, il ne se résume, bien sûr, pas seulement à une gestuelle nécessitant habileté, il comporte aussi plusieurs composantes ; le chirurgien doit avoir une bonne capacité de décision, des qualités de communication et de réaction au stress. Bien d'autres qualités sont requises, elles dépendent souvent de qualités comportementales qui sont difficiles à modéliser et à enseigner (50) . La simulation chirurgicale vise à renforcer la formation des chirurgiens en développant des compétences pratiques dans un environnement sûr et contrôlé.

Voici les principaux objectifs de la simulation chirurgicale :

- **Améliorer la précision et la coordination de gestes simples** : effectuer une série de nœuds pour bloquer une ligature, effectuer une suture à

l'aide d'une aiguille sertie, utiliser correctement les instruments, porte
aiguille, pince à disséquer ... (50) .

- **Réaliser de gestes plus complexes** : dissection d'un vaisseau en prenant soin de ne pas l'endommager ni endommager un tissu avoisinant, résection d'un organe, nécessitant l'identification des pédicules vasculaires, leur ligature... (50)
- **Développer la prise de décision clinique** : Les scénarios simulés exposent les résidents à des situations cliniques variées, leur permettant de s'exercer à la prise de décision rapide et au raisonnement critique face aux complications potentielles (50).
- **Permettre l'entraînement dans un environnement sans risque** : En utilisant des modèles virtuels, des mannequins ou des modèles animaux, la simulation permet aux résidents de s'entraîner sans mettre en danger la sécurité des patients, surtout pour les techniques invasives.
- **Préparer aux situations d'urgence** : Les simulations de situations d'urgence (traumatismes, complications peropératoires) permettent aux chirurgiens de s'entraîner à réagir de manière appropriée et efficace sous pression.
- **Faciliter l'intégration des nouvelles technologies** : La simulation aide à former les chirurgiens à l'utilisation de nouvelles technologies et instruments comme l'arthroscopie, améliorant ainsi leur adoption et utilisation efficace en salle d'opération.
- **Réduire le risque d'obsolescence des compétences** : La simulation continue aide à éviter la dégradation des compétences qui pourrait survenir en cas de faible volume d'interventions, notamment pour les techniques spécialisées.

- **Réduire les risques et les complications postopératoires liées aux erreurs médicales** : surtout après la publication du rapport « To err is human » où l'importance du facteur humain dans les erreurs médicales a été mise en évidence avec plus de 70% de ces erreurs attribuées à un problème de communication et de coordination (56) .
- **Permettre le développement professionnel et la certification** : De nombreuses formations par simulation sont désormais intégrées dans des programmes de développement professionnel continu et de certification.

V. Analyse et discussion de nos résultats :

Notre étude a mis en évidence de manière claire l'intérêt pédagogique et les avantages de la simulation médicale par rapport à une formation dite classique pour la prise en charge des lésions vasculaires et nerveuses de la main traumatique. Nos résultats montrent que le groupe ayant bénéficié d'une formation à l'anastomose vasculaire sur modèle animal a obtenu des scores significativement supérieurs à ceux du groupe formé de manière « classique ». Des résultats similaires ont été observés pour le groupe ayant appris la suture nerveuse sur pièces cadavériques.

En outre elle montre que chaque expérience enrichit notre apprentissage. En effet, le cycle d'apprentissage expérientiel est la notion la plus reconnue et répandue dans la théorie de l'apprentissage expérientiel (ELT) établie par Kolb (57) .La simplicité et l'efficacité de son cycle en quatre étapes — expérience, réflexion, conceptualisation et action — expliquent largement sa popularité (Figure 36). Ce modèle flexible favorise la création de programmes éducatifs qui engagent activement les apprenants dans leur propre processus d'apprentissage, se posant

comme une alternative à la transmission d'informations traditionnelle, souvent jugée peu efficace (57).

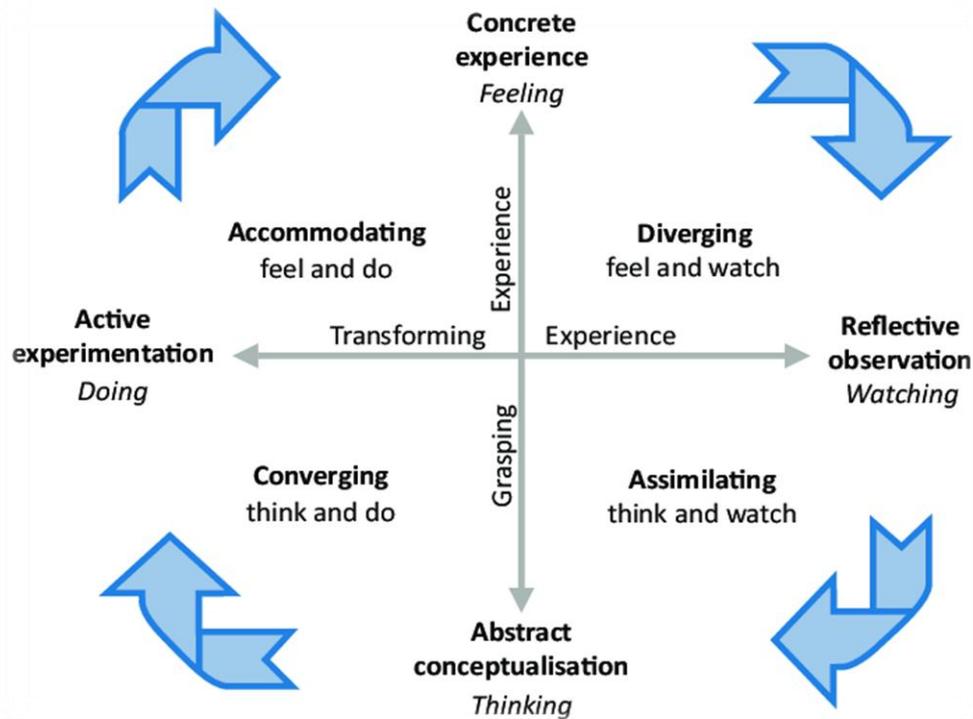


Figure 36 : les principes de modèle de kolb

L'approche traditionnelle contrairement à l'enseignement par simulation en formation médicale, segmente les connaissances médicales en plusieurs éléments simplifiés pour en faciliter l'apprentissage. Cependant, dans la pratique réelle, la prise en charge d'un patient dépend de nombreux facteurs variables, et les apprenants formés de manière fragmentée risquent de ne pas saisir la dynamique d'adaptation nécessaire pour relier ces différents éléments, ce qui est essentiel pour poser un diagnostic précis et assurer une prise en charge appropriée (58).

Pour remédier à ces problèmes de compartimentation et de fragmentation, les enseignants contemporains adoptent une approche plus holistique et ont

recours à une intégration de l'expérience dans l'apprentissage (59) .L'expérience est manifestement présente dans l'environnement clinique réel, mais la simulation reste tout de même un complément précieux à l'apprentissage auprès de vrais patients, et ce pour plusieurs raisons qu'on peut citer : (59) (60)

- La possibilité de contrôler la succession des activités proposées aux apprenants. À des fins éducatives, les apprenants doivent commencer par les activités les plus faciles, puis passer aux plus difficiles.

Cependant, dans la pratique courante, il n'est pas toujours possible de contrôler les activités disponibles au moment de la formation. De plus, les activités simulées sont reproductibles et peuvent être standardisées à des fins de formation et d'évaluation.

- La possibilité d'apporter un accompagnement et des conseils. Les apprenants ont besoin d'accompagnement et d'orientation dans l'apprentissage, ce qui n'est pas toujours possible dans les services hospitaliers. Dans le cadre de notre étude les résidents ont été encadré par un sénior titulaire d'un diplôme de microchirurgie de la main.

L'apprentissage peut donc être individualisé pour cibler les points forts et les points faibles de chacun afin de proposer une expérience éducative standardisée aboutissant à des résultats d'apprentissage homogènes.

- La prévention de situations dangereuses et non sécuritaires. Il est important pour les apprenants d'échouer, et de reconnaître quand leurs compétences

et leurs limites sont dépassées. La simulation offre donc aux apprenants la possibilité de s'exercer sans risquer de mettre la vie du patient en danger.

- La possibilité de reproduire des situations cliniques que les apprenants seront confrontés (61) Dans notre cas, c'est les lésions vasculaire et nerveuse de la main dans un contexte traumatique .

En 2011, une méta-analyse menée par Cook et al. (62) regroupant 619 études, a démontré que l'apprentissage par simulation, comparé à la formation traditionnelle, est systématiquement associé à des bénéfices significatifs et reproductibles, tant pour l'acquisition des connaissances que pour le développement des habiletés techniques. Dans notre étude, on note la même constatation avec pour chaque scénario associé à une formation par simulation, des scores d'évaluation significativement supérieurs.

Une des explications avancées pour comprendre le mécanisme d'apprentissage par simulation établie par le professeur Reader de l'institut de psychologie sociale de Londres est le concept de mémoire épisodique. Il s'agit de la capacité d'un individu à se souvenir d'un événement vécu (sur simulateur) et de sa

faculté à ressortir consciemment les informations mémorisées lorsqu'il revivra un événement identique (63).

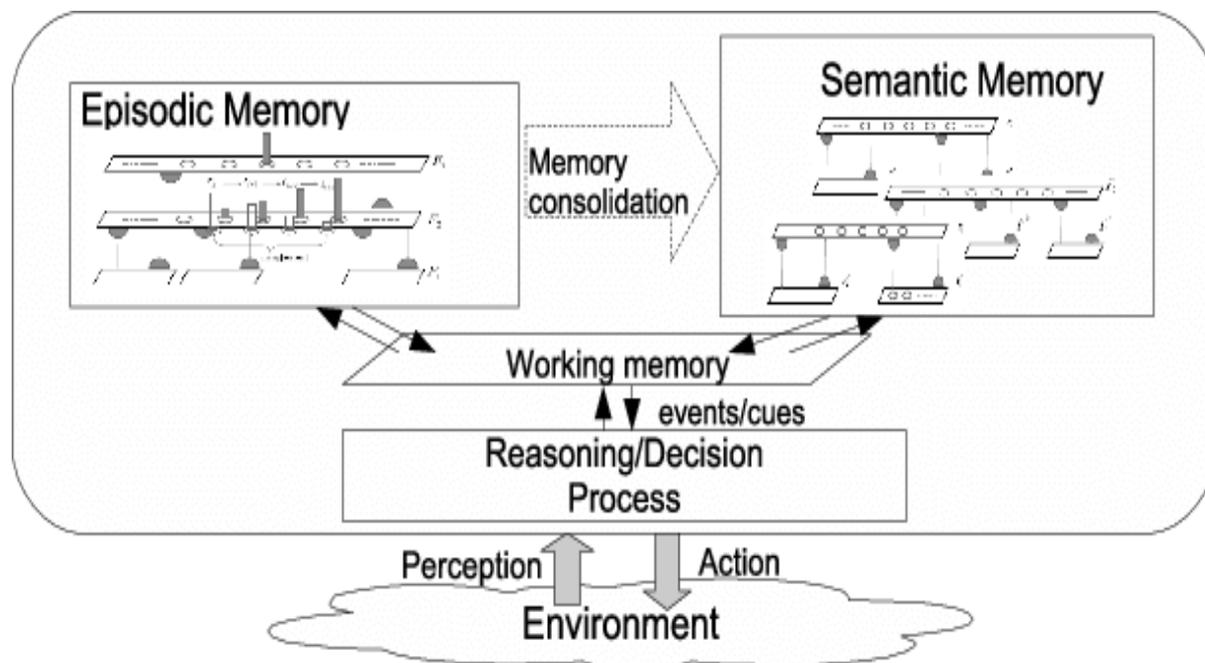


Figure 37 : Modèle d'interaction entre la mémoire épisodique, la mémoire sémantique et les processus cognitifs

La simulation permet donc d'identifier les failles structurelles et d'améliorer la qualité de la formation des professionnels de santé, tant dans le cadre de la formation initiale que de la formation continue, contribuant ainsi à une meilleure efficacité thérapeutique et à de meilleurs résultats pour les patients.

D'une autre part, la revue de la littérature médicale permet de constater la prédominance des études qui se sont concentrées sur les bénéfices immédiats de la simulation sur l'acquisition des compétences et ce à court terme (6 mois pour les plus longues) (64) à l'instar de notre propre étude.

Par ailleurs, l'enquête de satisfaction à la fin de l'étude était encourageante : tous les résidents ont déclaré avoir tiré un bénéfice significatif des séances de simulation pour leur pratique quotidienne aux urgences en termes de prise en charge des plaies vasculaires et nerveuses de la main traumatique.

Il est essentiel de souligner que notre travail visait non seulement à évaluer l'intérêt de la simulation en microchirurgie, mais également à mettre en lumière l'état actuel de la formation des résidents en traumatologie et orthopédie, afin de justifier l'intégration, pour la première fois au Maroc, d'un programme de formation par simulation dédié à la maîtrise des techniques microchirurgicales dans leur cursus standard. Ce projet répond à un besoin urgent, car le Maroc souffre d'un réel manque en chirurgiens spécialisés en chirurgie de la main, lié à l'absence d'une formation spécifique à l'échelle nationale. Cette carence est préoccupante car elle s'y associe une forte demande dans les services d'urgence, quotidiennement submergés par des cas de traumatismes et de plaies de la main entraînant des lésions vasculaires et nerveuses.

Les attentes de nos jours envers les chirurgiens dans la pratique chirurgicale moderne sont extrêmement élevées, avec comme objectifs primordiaux un taux de complications minimal et une sécurité maximale des patients. Ces deux objectifs dépendent fortement des compétences techniques individuelles qui nécessitent une formation soutenue, ciblée et efficace en dehors de l'environnement clinique (65). En effet, la réparation de ces lésions nécessite une chirurgie particulièrement exigeante, tant sur le plan technique qu'en termes de résultats attendus (66). Elle exige une combinaison de vision stéréoscopique, l'utilisation d'instruments spécifiques, et une gestuelle d'une grande précision. En raison de ces exigences, sa

courbe d'apprentissage est particulièrement lente. Depuis les travaux des pionniers Buncke et O'Brien, cette discipline a connu de nombreuses avancées, tant sur le plan théorique que technologique. Aujourd'hui, son apprentissage repose principalement sur des techniques de simulation (67) .

Les modèles de simulation de suture microchirurgicale décrite dans de nombreuses peuvent être regroupés en 4 types de modèles selon le matériel utilisé : inorganiques, organiques inertes, modèles en silicone et animaux vivants (68) (69) (70)



Figure 38 : dissection sur cadavre (96)

De nos jours, les exercices de simulation réalisés sur des modèles animaux (rat et lapin) constituent le standard, car ils permettent d'approcher au plus près les différentes techniques de la microchirurgie à savoir la dissection de vaisseaux, l'hémostase, l'anastomose vasculaire et la suture nerveuse (69). Nous avons utilisé dans notre travail un modèle organique à savoir le rat et des pièces de dissection cadavériques car ils offrent un environnement d'entraînement plus proche des conditions réelles, bien qu'ils soulèvent des préoccupations éthiques (69)

Il existe d'autres modèles décrites dans la littérature pour acquérir les bases de la manipulation des instruments et des techniques de suture. Parmi ces modèles Chan et al (71) ont mentionné les plaques de caoutchouc les tubes en silicone, qui simulent les vaisseaux sanguins pour l'apprentissage des anastomoses. Les feuilles de plantes, quant à elles, sont particulièrement adaptées pour renforcer la précision et la délicatesse. Cependant, ces modèles manquent de réalisme anatomique et leur validité prédictive reste limitée (72) (73). Des dernières études en 2023 ont évalué la possibilité d'utiliser les nouilles konjac et nouilles konnyaku shirataki comme modèle d'entraînement aux techniques de microchirurgie afin de réduire le nombre d'animaux utilisés pour les programmes de formation de simulation et vu aussi leur faible coût (74) (75).

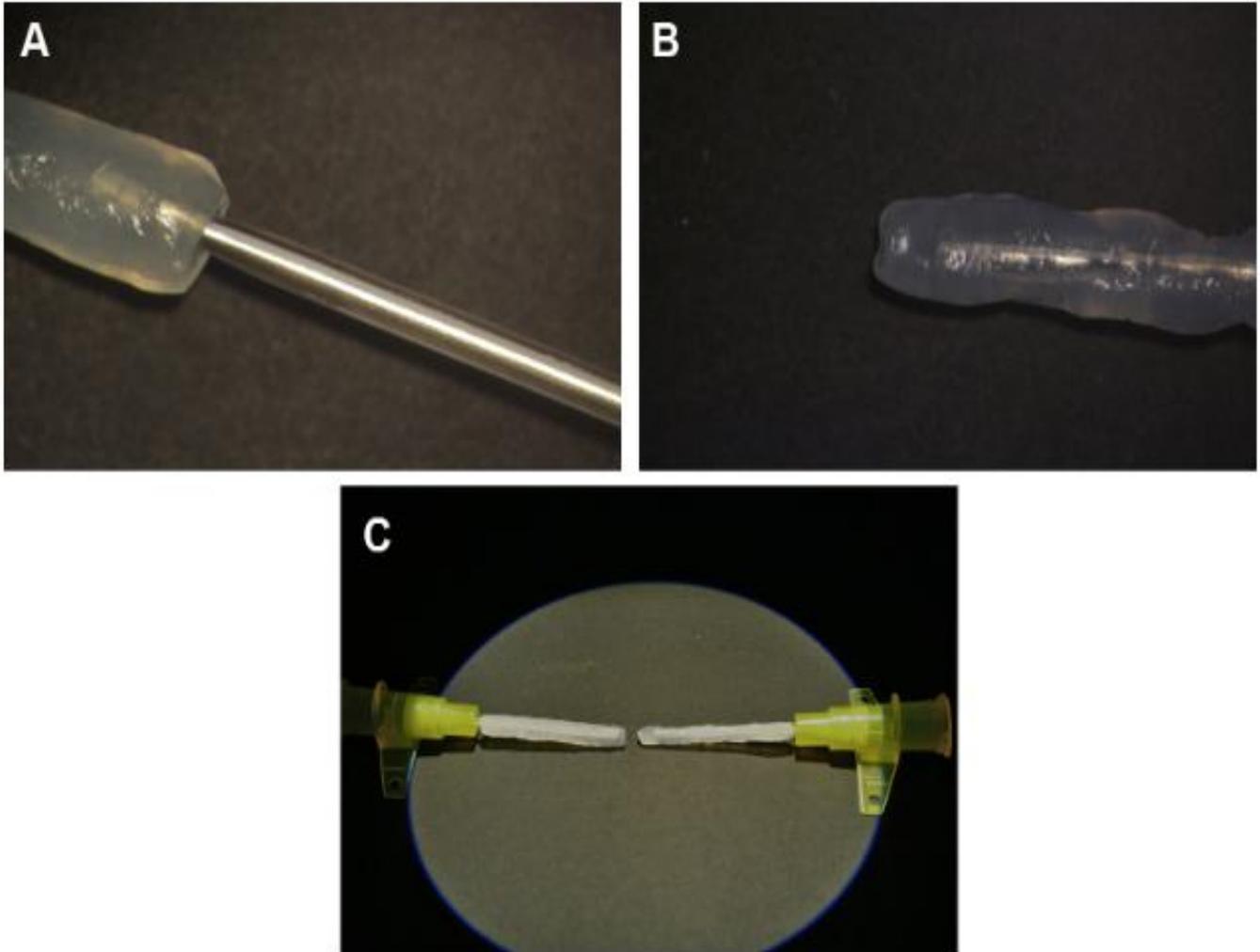


Figure 39 : Préparation d'un modèle de konnyaku shirataki. Perçage du modèle pour créer la lumière (A). L'aiguille du cathéter en place, le konnyaku est partiellement retiré pour laisser une longueur de 5 mm de lumière afin de permettre l'anastomose (B). Modèle prêt à être anastomosé (C).

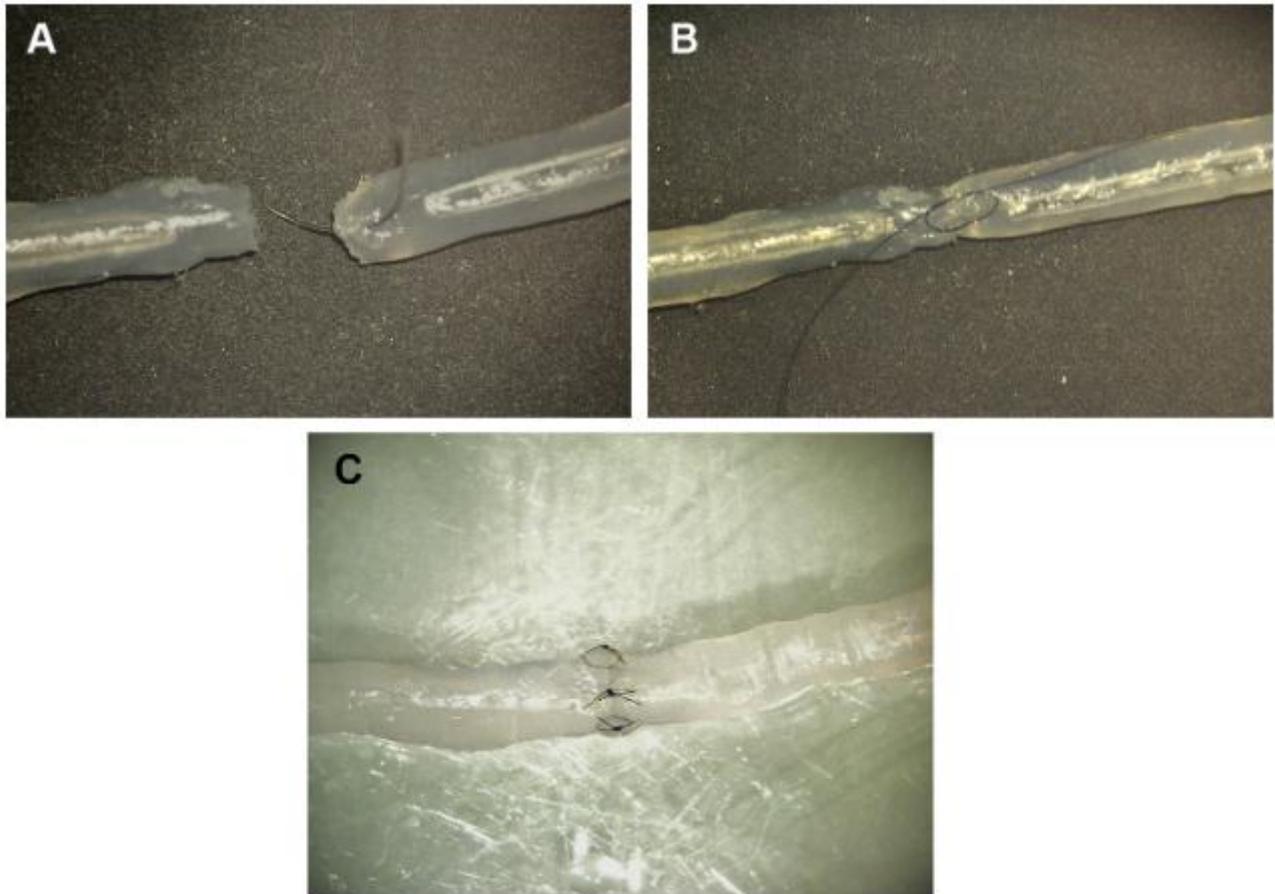


Figure 40 :Anastomose d'un modèle de konnyaku shirataki. Pénétration d'une aiguille de suture en nylon 10/0 à travers la lumière (A). Serrage du nylon 10/0 (B). Anastomose terminée (C).

Dans les pays développés, les simulateurs modernes exploitent des technologies avancées, comme la réalité virtuelle, pour fournir des environnements immersifs et interactifs (76). Ils permettent de s'exercer aux anastomoses et d'analyser les mouvements des mains. Les simulateurs virtuels présentent un grand potentiel pour remplacer les modèles animaux dans l'apprentissage de la microchirurgie (77). Toutefois, ils restent coûteux et ne reproduisent pas encore parfaitement les sensations tactiles, un élément crucial pour une pratique chirurgicale efficace.



Figure 41 : Simulateur de VR



Figure 42 : Simulateur d'arthroscopie au centre de simulation d'Agadir (Agadir

SIM)

L'absence de normes concernant la structure et le contenu des formations de microchirurgie à l'échelle mondiale a entraîné une grande hétérogénéité. Plusieurs études, menées sur des formations nationales ou internationales, sont parvenues à cette conclusion (78) (79) (80) (81) (82) (83) (84) Par ailleurs, il a été largement rapporté qu'aucun outil ou concept de formation idéal n'existe à ce jour.

En théorie, une formation idéale devrait reproduire fidèlement les conditions précliniques ou cliniques, être universellement reconnue, reproductible, exempte de problèmes éthiques et sans risques pour les participants (85). Elle devrait également être économique et nécessiter un entretien minimal. Bien qu'un tel « outil idéal » n'existe pas, il est possible de s'en approcher en développant des concepts soigneusement élaborés et adaptés aux besoins spécifiques des groupes de formation, des niveaux de compétence et des objectifs visés. Une certaine diversité reste essentielle pour répondre aux objectifs prédéfinis. Le choix concernant l'utilisation de modèles de formation traditionnels bien établis doit rester entre les mains des centres de formation. Bien que cette liberté soit laissée aux centres de formation, il existe un besoin croissant de normalisation de l'évaluation des compétences dans la formation chirurgicale (78) .

Dans notre travail de thèse nous avons utilisé tenant compte de leur simplicité, fiabilité, validité et reproductibilité, 2 échelles d'évaluation. La première grille d'évaluation CoTeMi (annexe 2) était pour évaluer l'anastomose vasculaire Elle a été développée en 2016 par Le chirurgien Adeline Cambon-Binder (6), spécialiste en chirurgie orthopédique et traumatologique . Il s'est appuyé sur une analyse critique de la littérature médicale et des échelles d'évaluation existantes, afin de proposer un outil plus précis, fiable, reproductible et simple pour évaluer la

qualité technique des anastomoses vasculaires microchirurgicales. Cette grille a été constituée par la conservation et la traduction en français de certains items qui figurent dans les grilles existantes, en limitant les possibilités de notation de 1 à 3, et en y ajoutant de nouveaux items pertinents tels que le réglage du microscope, la manipulation des aiguilles, la technique de l'adventicectomie et la mise en place des clamps. La perméabilité de l'anastomose, compte tenu de son importance par rapport aux autres items et dans la mesure où elle reflète la qualité technique du geste, a été notée avec un coefficient de 3.

La deuxième échelle d'évaluation était pour évaluer la suture nerveuse. Il s'agit de DNRPEES (Digital Nerve Repair Practical Exam Evaluation Sheet) (annexe 3) développée en 2016, par Soussen Salhi (7) pour évaluer les compétences des résidents lors de la réparation d'un nerf appelé la micro-neurorrhaphie. Cet outil repose sur 18 items, notés à l'aide d'une échelle visuelle de Likert à 5 points, regroupés en deux catégories principales. D'abord la microchirurgie générale, incluant des étapes comme la planification et l'exécution de l'incision cutanée, la dissection, et l'identification du nerf et ensuite la micro-neurorrhaphie, comprenant 7 étapes spécifiques : la microdissection des extrémités nerveuses, la résection des segments endommagés, la vérification de l'absence de tension entre les extrémités, la manipulation du nerf par son épinèvre, le passage des sutures à travers l'épinèvre sans toucher les fascicules, la réalisation de nœuds carrés, et la mise en place d'un nombre adéquat de sutures pour apposer les fascicules sans provoquer leur extrusion.

Dans la littérature, il existe plusieurs grilles d'évaluation des compétences microchirurgicales validées, fiables et reproductibles dont les plus utilisées sont le

« StructuredAssessment of MicrosurgerySkills » (SAMS) de Chan et al (annexe 4) (86)le « Global Rating Scale of Operative Performance » (GRSOP) de Niitsu (2012) (87) le « University Western Ontario MicrosurgicalSkills Acquisition/Assessment Instrument » (UWOMSA) de Temple et al (88) et le « Stanford Microsurgery and resident Training Scale » (SMRTS) de McGoldrick et al (89) Chacune de ces grilles comporte une série d'items techniques notés de 1 à 5. Ceci diminue la précision de la cotation et augmente la subjectivité de l'évaluateur (90) (91) .Elles évaluent le temps de réalisation de l'anastomose, le respect des tissus, la manipulation des instruments, la fluidité des gestes, la qualité du résultat final par la qualité du nœud, son efficacité, la perméabilité de l'anastomose (patency test) et le contrôle du saignement. Cependant, elles mêlent plusieurs notions par étape, rendant ainsi difficile leur utilisation (88) (92) (93).

Par ailleurs, les grands pionniers de la formation expérimentale en microchirurgie, tels que Sun Lee et Robert D. Acland, n'ont pas fondé leurs travaux sur l'utilisation d'outils d'évaluation sophistiqués. Leurs modèles et concepts de formation ont acquis une renommée légendaire grâce à leurs compétences chirurgicales exceptionnelles et à leurs qualités humaines en tant qu'enseignants et universitaires. Cet aspect « humain », difficilement quantifiable, demeure essentiel et mérite d'être valorisé, même à une époque où l'évaluation objective des compétences est privilégiée (65).

VI. Limites de notre étude :

Concernant les limites de notre étude, on pourrait lui reprocher d'abord le caractère mono centrique et le faible nombre de participants évalué qui nous incitent à la prudence quant à la généralisation des résultats obtenus. Ensuite, pour l'évaluation et pour des raisons de faisabilité, nous n'avons eu recours qu'à deux scénarii. A ce propos, divers auteurs à l'image de Selby et al (94) recommandent la multiplicité des scénarii en vue d'augmenter la fiabilité des conclusions. En addition, les grilles d'évaluation que nous avons adoptées utilisaient des items en rapport avec des savoirs et des connaissances techniques négligeant les capacités non techniques et les compétences de communication, de gestion et de travail en équipe qui sont essentielles pour une prise en charge complète et optimale des malades.

Cependant, notre étude se distingue comme une initiative pionnière au niveau national dans l'évaluation d'une formation en chirurgie vasculaire et nerveuse de la main traumatique par simulation. Bien que les évaluations initiales aient été réalisées à court terme, cette étude s'inscrit dans une perspective d'élargissement sur une période plus longue afin d'évaluer l'intérêt de cette formation à moyen et long terme. À noter que, dans la littérature, la période d'évaluation la plus longue rapportée jusqu'à présent est de six mois. Ainsi que tous les participants ont reconnu avoir tiré un bénéfice significatif de la formation sur leur pratique quotidienne aux urgences en termes de prise en charge des plaies vasculaires et nerveuses de la main traumatique avec des compétences qui étaient maintenues dans le court terme.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Notre étude, pionnière au Maroc, a clairement démontré l'intérêt pédagogique et les avantages indéniables de la simulation médicale par rapport à une formation classique dans la prise en charge des lésions vasculaires et nerveuses de la main traumatique. Tous les participants ont rapporté un bénéfice significatif des séances de simulation, favorisant un apprentissage pratique, progressif et sécurisé, ainsi qu'une meilleure rétention des compétences acquises à court terme.

Il apparaît désormais essentiel d'élargir cette étude sur une période plus longue afin d'évaluer l'impact de cette formation à moyen et long terme. La simulation s'est révélée être une méthode supérieure pour l'acquisition, la consolidation et l'application des compétences microchirurgicales.

Nos résultats obtenus soulignent l'amélioration immédiate des performances techniques des résidents ce qui renforce l'idée que la simulation médicale est un outil d'enseignement essentiel, particulièrement adapté aux besoins spécifiques de la chirurgie traumatologique et orthopédique.

Dans un contexte où les traumatismes de la main représentent un motif de consultation fréquent aux urgences, la présence de professionnels bien formés, confrontés en première ligne à ces types de lésions, demeure indispensable. Cela justifie pleinement l'intégration officielle d'un programme de formation par simulation aux techniques microchirurgicales de la chirurgie de la main dans le cursus standard des résidents. Une telle initiative permettrait de combler le manque de formation certifiante dans ce domaine au niveau national et, par conséquent, d'optimiser la prise en charge des patients souffrant de traumatismes complexes de la main.

Par ailleurs, l'hôpital universitaire de simulation de Fès, bien qu'il représente une avancée majeure pour la formation médicale des médecins résidents du centre hospitalier Hassan II de Fés , demeure sous-exploité dans le domaine de la chirurgie traumatologique et orthopédique .Une perspective importante serait de développer ce centre en lui fournissant les ressources nécessaires et en élaborant des scénarios pédagogiques adaptés aux besoins spécifiques de cette spécialité, notamment pour les techniques microchirurgicales de la main. En exploitant ce potentiel, il serait possible de répondre plus efficacement aux besoins des résidents en formation et de renforcer les compétences techniques en chirurgie traumatologique et orthopédique, tout en valorisant l'infrastructure existante.

RESUMES

RESUME

Contexte : La simulation médicale est une méthode pédagogique incontournable dans le domaine de la santé, car elle permet de reproduire des situations cliniques réalistes pour l'apprentissage et le perfectionnement des compétences des praticiens. Son efficacité est largement reconnue pour améliorer les compétences des professionnels de santé, en particulier dans des domaines exigeants comme la chirurgie. La plupart des recherches se concentrent principalement sur les avantages à court terme de cette approche.

Objectif principal : Cette étude vise à évaluer l'intérêt et l'apport pédagogique de la simulation à court terme par rapport à une formation classique. L'objectif spécifique est de déterminer son efficacité dans la prise en charge des lésions vasculaires et nerveuses de la main traumatique au sein d'un service de traumatologie et d'orthopédie. Cette étude vise aussi à justifier l'intégration d'une formation par simulation en microchirurgie de la main dans le cursus standard des résidents en traumatologie et orthopédie.

Méthodes : L'étude a inclus tous les résidents de la 2^{ème} année (n = 8), de 3^{ème} année (n = 6) et de 4^{ème} année (n=4) spécialisés en traumatologie et orthopédie. Tous les participants ont suivi une formation théorique sur les techniques de sutures microchirurgicales vasculaires et nerveuses. Les résidents ont ensuite été répartis aléatoirement en deux groupes. Chaque groupe a réalisé des simulations des techniques opératoires de sutures vasculaires (SV) et nerveuses (SN) sur des modèles animaux (rats) et des pièces de dissection cadavériques. Les compétences acquises ont été évaluées : après 02 semaines. Deux scénarios d'évaluation ont été utilisés : une réparation vasculaire par suture termino-

terminale (notée sur 48 points) et la restauration de la continuité d'un nerf par suture épineurale (notée sur 80 points). Chaque groupe servait de contrôle pour l'autre groupe dans la technique qu'il n'avait pas simulée.

Résultats : Les 18 résidents ont été divisés en deux groupes de 9. Les résidents du groupe SV et du groupe SN ont obtenu des scores significativement supérieurs dans leurs scénarios respectifs à l'évaluation.

Conclusion : La formation par simulation utilisant des modèles animaux et des pièces de dissection cadavériques a permis aux participants d'obtenir des résultats significativement supérieurs par rapport à ceux qui n'ont pas bénéficié de cette formation. Les compétences et les connaissances acquises grâce à la simulation se sont maintenues à court terme. Ces résultats nous incitent fortement à envisager l'intégration d'une formation par simulation en microchirurgie de la main dans le cursus standard des résidents en traumatologie et orthopédie renforçant ainsi notre engagement envers des méthodes pédagogiques innovantes et efficaces pour la formation des futurs chirurgiens.

ABSTRACT

Context:

Medical simulation is an essential educational method in the healthcare field, as it allows the reproduction of realistic clinical situations for the learning and improvement of practitioners' skills. Its effectiveness is widely recognized for enhancing the competencies of healthcare professionals, particularly in demanding fields such as surgery. Most research primarily focuses on the short-term benefits of this approach.

Main Objective:

This study aims to assess the educational value and short-term impact of simulation compared to traditional training. The specific objective is to determine its effectiveness in managing vascular and nerve injuries of the traumatic hand within a trauma and orthopedic department. Additionally, this study seeks to justify the integration of simulation-based training in microsurgery of the hand into the standard curriculum for trauma and orthopedic residents.

Methods:

The study included all second-year (n = 8), third-year (n = 6), and fourth-year (n = 4) residents specializing in trauma and orthopedics. All participants underwent theoretical training on vascular and nerve microsurgical suturing techniques. The residents were then randomly assigned to two groups. Each group performed simulations of vascular (VS) and nerve (NS) suturing techniques using animal models (rats) and cadaveric dissection specimens.

The acquired skills were evaluated after two weeks using two assessment scenarios: vascular repair through end-to-end suturing (scored out of 48 points) and nerve continuity restoration through epineural suturing (scored out of 80 points). Each group served as a control for the other in the technique they had not simulated.

Results:

The 18 residents were divided into two groups of 9. Residents in the VS and NS groups achieved significantly higher scores in their respective evaluation scenarios.

Conclusion:

Simulation-based training using animal models and cadaveric dissection specimens enabled participants to achieve significantly better results compared to those who did not receive this training. The skills and knowledge acquired through simulation were retained in the short term. These findings strongly support the integration of simulation training in hand microsurgery into the standard curriculum for trauma and orthopedic residents, reinforcing our commitment to innovative and effective educational methods for training future surgeons.

ملخص

السياق:

تُعتبر المحاكاة الطبية منهجًا تربويًا أساسيًا في مجال الصحة، حيث تتيح إعادة إنتاج حالات سريرية واقعية لتعلم المهارات الطبية وتحسينها. وقد ثبتت فعاليتها بشكل واسع في تعزيز قدرات مهني الصحة، لا سيما في المجالات الدقيقة مثل الجراحة. تركز معظم الأبحاث على الفوائد قصيرة المدى لهذه المقاربة.

الهدف الرئيسي:

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم أهمية وجدوى التدريب بالمحاكاة على المدى القصير مقارنة بالتدريب التقليدي. والهدف المحدد هو تحديد مدى فعاليتها في التعامل مع الإصابات الوعائية والعصبية لليد الناتجة عن الصدمات في قسم جراحة العظام والرضوض. كما تسعى الدراسة إلى تبرير إدماج تدريب بالمحاكاة في جراحة اليد الميكروسكوبية ضمن المنهاج الدراسي القياسي للمقيمين في جراحة العظام والرضوض.

المنهجية:

شملت الدراسة جميع المقيمين في السنة الثانية ($n = 8$) ، والثالثة ($n = 6$) ، والرابعة ($n = 4$) المتخصصين في جراحة العظام والرضوض. تلقى جميع المشاركين تدريبًا نظريًا حول تقنيات الخياطة الميكروسكوبية للأوعية الدموية والأعصاب. ثم تم تقسيمهم عشوائيًا إلى مجموعتين، حيث خضع كل فريق لمحاكاة عملية لخياطة الأوعية الدموية (SV) والأعصاب (SN) باستخدام نماذج حيوانية (فئران) وعينات تشريحية بشرية.

تم تقييم المهارات المكتسبة بعد أسبوعين باستخدام سيناريوهين للتقييم: الأول يتعلق بإصلاح وعائي عبر خياطة طرفية نهائية (بتقييم من 48 نقطة)، والثاني يركز على استعادة استمرارية العصب عبر خياطة فوق الجافية (بتقييم من 80 نقطة). كما تم استخدام كل مجموعة كعنصر تحكم للمجموعة الأخرى في التقنية التي لم تخضع للمحاكاة.

النتائج:

تم تقسيم المقيمين الـ 18 إلى مجموعتين متساويتين (9 في كل مجموعة). حصل المشاركون في مجموعة SV ومجموعة SN على درجات أعلى بشكل ملحوظ في السيناريوهات الخاصة بهم أثناء التقييم.

الاستنتاج:

أثبت التدريب بالمحاكاة باستخدام نماذج حيوانية وعينات تشريحية بشرية فعاليته، حيث حقق المشاركون نتائج تفوق بشكل واضح أولئك الذين لم يستفيدوا من هذا التدريب. كما لوحظ الحفاظ على المهارات والمعارف المكتسبة على المدى القصير. تدعم هذه النتائج بقوة فكرة إدماج المحاكاة في تدريب المقيمين في جراحة العظام والرضوض، مما يعزز التزامنا بتطوير أساليب تعليمية مبتكرة وفعالة لإعداد الجراحين المستقبليين.

ANNEXES

Annexe1:La grille d'évaluation du debriefing pour la simulation ensanté« DASH » (Debriefing Assessment for Simulation in Healthcare), version étudiant

(5).

L'élément 1 évalue l'introduction (le briefing) de la séquence de simulation
Les éléments 2 à 6 évaluent le débriefing.

| Notation | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|-------------|--|-------------------------------|------------------------------------|------------------------|-----------------------------|------------------------------|-------------------------------------|
| Description | Extrêmement inefficace / préjudiciable | Toujours inefficace / mauvais | Généralement inefficace / médiocre | Assez efficace / moyen | Généralement efficace / bon | Toujours efficace / très bon | Extrêmement efficace / exceptionnel |

| Elément 1 | Note élément 1 |
|--|-----------------------------|
| Le formateur a établi un climat favorable à l'apprentissage | _____ |
| Comportement | Score comportemental |
| A. Le formateur s'est présenté, a décrit l'environnement de la simulation, expliqué ce qui était attendu au cours de la séance, et annoncé les objectifs pédagogiques | |
| B. Le formateur a expliqué les points forts et les points faibles de la simulation et m'a indiqué ce que je pouvais faire pour tirer le meilleur parti d'une expérience de simulation clinique | |
| C. Le formateur a précisé les détails logistiques, comme l'emplacement des toilettes, les possibilités de restauration, le déroulement de la journée, ... | |
| D. Le formateur m'a encouragé(e) à exprimer mes réflexions et mes questions au sujet de la simulation et du débriefing à venir et m'a rassuré(e) sur le fait que je ne serais ni mortifié(e) ni humilié(e) dans cet exercice | |

| Elément 2 | Note élément 2 |
|--|-----------------------------|
| Le formateur a maintenu un climat favorable à l'apprentissage | _____ |
| Comportement | Score comportemental |
| A. Le formateur a clarifié les objectifs du débriefing, ce qu'il attendait de moi et précisé son rôle (en tant que formateur) dans le débriefing | |
| B. Le formateur a reconnu des inquiétudes au sujet du réalisme des situations simulées et m'a aidé(e) à apprendre, malgré les limites de la simulation | |
| C. J'ai constaté que le formateur a fait preuve de respect vis-à-vis des apprenants | |
| D. L'accent a été mis sur l'apprentissage et non sur la stigmatisation des personnes qui ont fait des erreurs | |
| E. Les apprenants ont pu exprimer leurs réflexions et leurs ressentis sans crainte d'être mortifiés ou humiliés | |

| Elément 3 | Note élément 3 |
|--|-----------------------------|
| Le formateur a conduit le débriefing de manière structurée | _____ |
| Comportement | Score comportemental |
| A. Les échanges ont progressé de façon logique plutôt que de passer d'un point à un autre sans cohérence | |
| B. Vers le début du débriefing, j'ai été encouragé(e) à partager mon ressenti sur la situation simulée et le formateur a paru prendre mes remarques au sérieux | |
| C. Au cours de la séance, l'instructeur m'a aidé(e) à analyser mes actions et les processus de pensée mis en œuvre au cours de l'expérience de simulation | |
| D. A la fin du débriefing, il y a eu une phase de synthèse au cours de laquelle le formateur a aidé à faire des liens entre les différentes notions explorées et a relié la séance de simulation aux façons dont je pourrais améliorer ma pratique clinique future | |

| | |
|--|--------------------------------|
| Elément 4 Le formateur a suscité l'engagement dans l'échange, ce qui m'a amené(e) à analyser ma performance | Note élément 4 _____ |
| Comportement | Score comportemental |
| A. Le formateur a utilisé des exemples concrets (pas seulement des commentaires abstraits ou généralistes) pour m'amener à réfléchir sur ma performance | |
| B. Le propos du formateur était clair ; je n'ai pas eu à deviner ses pensées | |
| C. Le formateur a écouté et amené les personnes à se sentir entendues, en étant attentif à chacune, en reformulant leur propos, et en utilisant un langage non verbal adapté (par exemple, en regardant dans les yeux ou par des hochements de tête) | |
| D. Le formateur a utilisé les enregistrements, vidéo ou autre, comme support pour les échanges et l'apprentissage | |
| E. Si l'un des participants s'est senti contrarié ou troublé lors du débriefing, le formateur a été respectueux et constructif en l'aidant à gérer ses émotions | |

| | |
|---|--------------------------------|
| Elément 5 Le formateur a identifié mes points forts et mes points à améliorer ainsi que leurs raisons | Note élément 5 _____ |
| Comportement | Score comportemental |
| A. J'ai reçu des feedbacks concrets sur mes performances ou celles de mon équipe, basés sur son point de vue honnête et juste | |
| B. Le formateur m'a aidé(e) à explorer mes processus de pensée ou ce que je tentais de mettre en œuvre à des moments clés | |

| | |
|--|--------------------------------|
| Elément 6 Le formateur m'a aidé(e) à envisager comment améliorer ou maintenir un bon niveau de performance | Note élément 6 _____ |
| Comportement | Score comportemental |
| A. Le formateur m'a aidé(e) à apprendre comment améliorer mes points faibles ou comment maintenir une bonne performance | |
| B. Le formateur était expert dans le domaine et a utilisé ses connaissances pour m'aider à être plus performant(e) dans une situation future | |
| C. Le formateur s'est assuré que les points importants avaient été abordés | |

Annexe 2 : Grille d'évaluation des compétences techniques en microchirurgie « CoTeMi » (6)

| POINTS | | 1 | 2 | 3 | TOTAL |
|------------------------------|---|---|---|--|-------|
| Microscope /3 | Réglage du microscope (centrage, mise au point, hauteur, confort de l'assise, posture de l'opérateur) | Non acquis | En cours d'acquisition | Maîtrisé | 3 |
| | Stabilité de l'installation de l'opérateur (avant-bras) | Tremblements fréquents | Tremblements occasionnels | Mouvements fluides | 3 |
| Dextérité /9 | Manipulation des instruments | Maladroite, gestes d'amplitude excessive, difficultés à positionner l'aiguille sur le porte-aiguille | Occasionnellement maladroite | Mouvements précis, d'amplitude adaptée | 3 |
| | Aiguilles | Tordues, desserties, fils cassés, longueur excessive de fil utilisée à chaque point | Dommages occasionnels de l'aiguille | Utilisation économe des fils, aiguilles intactes | 3 |
| Préparation des vaisseaux /6 | Adventicectomie | Traumatique | Excessive ou insuffisante | Atraumatique, ni excessive ni insuffisante | 3 |
| | Mise en place du clamp | Emplacement inapproprié (trop proche de la lumière, rapport avec collatérales, inconfort de l'opérateur) | Emplacement perfectible (opérateur peu confortable) | Emplacement optimal | 3 |
| | Manipulation des vaisseaux | Mauvaise prise des tissus et vaisseaux | Mauvaise prise occasionnelle | Atraumatique | 3 |
| Anastomose /12 | Suture | Points irréguliers fréquents (nombre excessif/transfixiants/ largeur, intervalles ou décalage inappropriés/ chevauchement ou invagination des berges) | Points irréguliers occasionnels | Points correctement réalisés | 3 |
| | Nœuds | Nœuds ratés nombreux (degré de serrage, fil intraluminal) | Nœuds incorrects occasionnels | Nœuds corrects: bien placés et serrage optimal | 3 |
| | Irrigation | Peu d'irrigation, vaisseaux souvent secs | Bonne irrigation, vaisseaux parfois secs | Irrigation optimale | 3 |
| Fluidité du geste /3 | Vitesse | Durée excessive, beaucoup de mouvements inutiles ou répétitifs, dextérité insuffisante | Bonne vitesse, quelques mouvements inutiles | Vitesse excellente, mouvements économes et efficaces | 3 |
| | Contrôle de l'anastomose avant levée du clamp | Pas de vérification des sutures | Bonne vérification des sutures, nécessité de points supplémentaires | Vérification des sutures, pas de point complémentaire nécessaire | 3 |
| Analyse / 15 | Patency test | Mauvaise procédure (technique erronée, geste traumatique) | Bonne procédure mais répétée inutilement | Bonne procédure | 3 |
| | Perméabilité de l'anastomose après 1 min | Absente | Fuite localisée ou petite sténose | Parfaite: ni obstacle ni fuite | 9 |

Annexe 3 : la grille d'évaluation de la réparation nerveuse des nerfs digitaux

(Digital Nerve Repair Practical Exam Evaluation Sheet« DNRPEES ») [4].

| <u>Digital Nerve Repair Practical Exam Evaluation Sheet</u> | |
|--|---|
| <p>- Please evaluate the video-recorded performance by placing a mark on the line for each item using the visual 5-point Likert scales provided (0=step not performed; 1=performed poorly; 5=performed expertly). The criteria are presented such that each one should be scored sequentially as the procedure is carried out. Some general criteria will be presented at the end. Please do not stop the video if possible. Do not rewind the video.</p> <p>- A score of 3 is the minimum passing score for each item (3=satisfactory). If for any item you assign a score of less than 3, please specify your reason(s) for doing so in the comment section next to the item, so that it can be communicated to the resident for educational purposes.</p> <p>- Particularly important steps are noted in BOLD and with an asterisk *.</p> <p>- To pass this exam, <u>ALL</u> of the BOLD* criteria must achieve a minimum score of 3. All of the remaining 8 criteria must achieve a minimum score of 2, and no more than 4 of these 8 can be less than 3.</p> | |
| Section I: Surgical approach | |
| <p>1)* Incision planned respecting principles of hand surgery *</p> <p style="text-align: center;"> 0 1 2 3 4 5 Not done Poor Needs Improvement Satisfactory (PASS) Good Expert </p> | <p>Comments:</p> <div style="border: 1px solid black; height: 40px; width: 100%;"></div> |
| <p>2) Incision carried out appropriately and confidently</p> <p style="text-align: center;"> 0 1 2 3 4 5 Not done Poor Needs Improvement Satisfactory (PASS) Good Expert </p> | <p>Comments:</p> <div style="border: 1px solid black; height: 40px; width: 100%;"></div> |
| <p>3)* Flaps lifted and retracted adequately *</p> <p style="text-align: center;"> 0 1 2 3 4 5 Not done Poor Needs Improvement Satisfactory (PASS) Good Expert </p> | <p style="text-align: right;">(PASS)</p> <p>Comments:</p> <div style="border: 1px solid black; height: 40px; width: 100%;"></div> |
| <p>4) Pedicles identified appropriately and with ease</p> <p style="text-align: center;"> 0 1 2 3 4 5 Not done Poor Needs Improvement Satisfactory (PASS) Good Expert </p> | <p>Comments:</p> <div style="border: 1px solid black; height: 40px; width: 100%;"></div> |
| Section II: General Microsurgery | |
| <p>5) Transitions to microscope dissection at appropriate time</p> <p style="text-align: center;"> 0 1 2 3 4 5 Not done Poor Needs Improvement Satisfactory (PASS) Good Expert </p> | <p>Comments:</p> <div style="border: 1px solid black; height: 40px; width: 100%;"></div> |
| <p>6) Properly adjusts microscope placement and settings to carry out microsurgical procedure without need for constant fiddling</p> <p style="text-align: center;"> 0 1 2 3 4 5 Not done Poor Needs Improvement Satisfactory (PASS) Good Expert </p> | <p>Comments:</p> <div style="border: 1px solid black; height: 40px; width: 100%;"></div> |

Section III : Microneurorraphy

7)* **Able to appropriately microdissect both cut ends of digital nerve in preparation for neurorraphy ***

0 Not done 1 Poor 2 Needs improvement 3 Satisfactory (PASS) 4 Good 5 Expert

Comments :

8)* **Carries out appropriate "neuroma" resection (refreshes nerve ends) and checks for healthy fascicles on both nerve ends before attempting neurorrhaphy***

0 Not done 1 Poor 2 Needs improvement 3 Satisfactory (PASS) 4 Good 5 Expert

Comments :

9)* **Verifies that there is not excessive tension before attempting neurorraphy ***

0 Not done 1 Poor 2 Needs improvement 3 Satisfactory (PASS) 4 Good 5 Expert

Comments : (PASS)

10)* **Handles nerve ends appropriately by the epineurium and without crushing fascicles ***

0 Not done 1 Poor 2 Needs improvement 3 Satisfactory (PASS) 4 Good 5 Expert

Comments : (PASS)

Page 3 / 6

11)* **Passes the suture needle through the epineurium only ***

0 Not done 1 Poor 2 Needs improvement 3 Satisfactory (PASS) 4 Good 5 Expert

Comments :

12)* **Ties knot adequately and securely ***

0 Not done 1 Poor 2 Needs improvement 3 Satisfactory (PASS) 4 Good 5 Expert

Comments :

13)* **Places adequate number of sutures to gently appose the fascicles without bunching or extrusion of fascicles ***

0 Not done 1 Poor 2 Needs improvement 3 Satisfactory (PASS) 4 Good 5 Expert

Comments :

Section IV : General

14) Carries out appropriate and adequate skin closure

0 Not done 1 Poor 2 Needs Improvement 3 Satisfactory (PASS) 4 Good 5 Expert

Comments :

15) Handles surgical instruments adequately (including microsurgical instruments)

0 Not done 1 Poor 2 Needs Improvement 3 Satisfactory (PASS) 4 Good 5 Expert

Comments :

16) Handles tissues gently and appropriately

0 Not done 1 Poor 2 Needs Improvement 3 Satisfactory 4 Good 5 Expert

Comments : (PASS)

17) **Automatic fail** : If you feel that the surgeon has carried out any step of the procedure in such a way that patient outcome would be **significantly adversely affected**, please describe the incorrect action here. This results in **FAILURE** of the practical examination, regardless of the rest of the evaluation.

Annexe 4 : la grille d'évaluation Structured Assessment of Microsurgery Skills (SAMS) de Chan et al. (86)

Trainee:

Assessor:

Operation + date :

Anastomosis technique: triangulation / backwall / other:

| Please tick level (scale 1-5) | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-------------------------------|---------------------|---|---|---|---|--|
| Dexterity | Steadiness | Frequent exhibition of tremor | | Occasionally signs of tremor | | Fluid movements and obvious control of movements |
| | Instrument handling | Repeatedly tentative awkward moves through inappropriate use | | Competent use, but occasionally stiff/awkward | | Fluid movements with no stiffness or awkwardness |
| | Tissue handling | Frequently unnecessary force on tissue/ damage caused | | Careful, but occasionally inadvertent damage | | Consistently appropriate handling with minimal damage |
| Visuo-spatial ability | Dissection | Frequently uncontrolled grasping of tissue or readjustment of view required | | Correct use of instruments at right angle, but occasional uncontrolled grasping/ view disturbance | | Efficient use of instruments with vessel ends clearly prepared |
| | Suture placement | Frequently lost sutures & uneven placement | | Occasionally uneven sutures placement | | Consistent delicately placed sutures with adequate spaces |
| | Knot technique | Insecure knots/ frequent thread in knots | | Secure knots, but occasionally awkward movement | | Consistent secure knots placed effortlessly |
| Operative flow | Steps | Frequently stopped and unsure of next move | | Reasonable progression of procedure | | Obvious logically planned course of operation with effortless flow from one move to next |
| | Motion | Many unnecessary or repetitive moves | | Efficient, but some unnecessary moves | | Economy of movement and maximum efficiency |
| | Speed | Excessive time used for each step due to insufficient dexterity | | Efficient time, but some unnecessary/ repetitive moves | | Excellent speed and superior dexterity without awkward moves |
| Judgement | Irrigation | Poor use of irrigation, frequently desiccated vessels | | Fair use of irrigation, but occasionally too wet interfering operative flow | | Appropriate use of irrigation |
| | Patency test | Unsure of result of Acland test with possible thrombosed patency | | Correct clamp removal, but repeatedly using Acland test | | Appropriate sequence and time of patency test with confidence of unimpeded flow |
| | Bleeding control | No check for uncompleted anastomosis before clamp removal | | Anastomosis checked but requires sutures for anastomotic leak | | Places extra sutures as appropriate before clamp removal |

Errors list: [please tick if observed]

| | | |
|----------------------------------|----------------------------------|--|
| Planning | Inappropriate operative field | |
| | Inappropriate vessel set up | |
| | Focus lost | |
| | Loss of central view | |
| Dexterity | Vessel clamp re-application | |
| | Broken sutures/needle off suture | |
| | Wrong grasp / damage tissue | |
| | Opposite wall caught | |
| | Vessel tear | |
| | Thread in knot | |
| Visuospatial ability | Insufficient vessel preparation | |
| | Empty grasp | |
| | Unequal stitch bites | |
| | Suture pulled through | |
| | Suture cut through | |
| Operative flow | Loose knot | |
| | Re-do suture | |
| | Inappropriate magnification | |
| Judgement | Inadequate loop length | |
| | Vessel dessication | |
| | 'pooling' | |
| | Anastomotic leak - extra sutures | |
| | 'crushing' patency test | |
| | Excessive sutures | |
| Impeded flow - re-do anastomosis | | |

Comments:

Overall performance:

1 2 3 4 5
bad borderline satisfactory good excellent

Indicative skill for next performance:

1 2 3 4 5
novice advanced beginner competent proficient expert

BIBLIOGRAPHIE

1. Tesniere, A., & Mignon, A. (2013). Simulation médicale dans les programmes pédagogiques de formation. Dans : La simulation en santé : De la théorie à la pratique (pp. 209–216). Springer.
2. Moutet, F., Guinard, D., & De Soras, X. (1996). La Main Traumatique: Gestion Et Orientation Dans Un Service d'Accueil Et d'Urgence. *Reanimation Urgences*, 5(2), 119–126.
3. Rimbeau G, Livre Blanc. Les unités de chirurgie en France, sous l'égide de la société française de la chirurgie de la main. *La Main*, 3, 1998, 1–41.
4. Delingette, H. (1999). La Simulation Médicale. Colloque Technologies pour la santé : Réflexions pour l'avenir. INRIA.
5. Policard, R. Doureradjam, M. Jaffrelot, G. Savoldelli, M. Rudolph. Évaluation du débriefing pour la simulation en santé (DASH©), version étudiant, 2011[en ligne] www.harvardmedsim.org.
6. Cambon-Binder, A. (2015). Evaluation structurée des compétences techniques en microchirurgie. La grille CoTeMi d'évaluation des Compétences Techniques en Microchirurgie. [Mémoire de DIU de pédagogie médicale]. Université Pierre et Marie Curie , Paris.
7. Salhi, S. (2016). Développement d'un outil d'évaluation des techniques chirurgicales en plastie. [Mémoire en vue de l'obtention du grade de M.Sc. en Sciences Biomédicales option Musculo- squelettique]. Université de Montréal, Canada.
8. TAYLOR CL, SCHWARZ RJ. The anatomy and mechanics of the human hand. *Artif Limbs*. 1955 May et 13249858., 2(2):22–35. PMID:.

9. Larsen CF, Mulder S, Johansen AM, Stam C. L'épidémiologie des blessures à la main aux Pays-Bas et au Danemark. *Eur J Epidemiol*. 2004 et 19(4):323-7.
10. de Putter CE, Selles RW, Polinder S, Panneman MJ, Hovius SE, van Beeck EF. Impact économique des blessures à la main et au poignet : coûts des soins de santé et coûts de productivité dans une étude basée sur la population. *J Bone Joint Surg Am*. 2012 et 94(9).
11. Lima Neto JQ, De Carli A, Nakamoto HA, Bersani G, Crepaldi BE, Rezende MR. Prognostic factors on survival rate of fingers replantation. *Acta Ortop Bras*. [online]. 2015 et 23(1):16-8.
12. Dos Remedios C, Leps P, Schoofs M. Résultats de 46 replantations digitales. À un an de recul minimum. *Chir Main* 2005 et 24(5):236-42.
13. Hoang NT. Microsurgical finger replantation in Hanoi, Vietnam: Our first experience. *Handchir Mikrochir Plast Chir* 2005 et 37(5):337-43.
14. El Bakkali, G. (2017). Revascularisations digitales (sur 18 cas).
15. Diarra, N. (2002). Etude des aspects épidémiologiques lésionnels et thérapeutiques des traumatismes ostéo-articulaires de janvier à décembre 2005. A propos de 5127 cas. *Chirurgie: Bamako*, 65.
16. Sivulyamwenge, A. K., Masumbuko, C. K., Ketha, J. K., Ugandra, J. C., Ilumbulumbu, M. K., Sikakulya, F. K., (2019). Profil épidémiologique, clinique et thérapeutique des traumatismes de la main dans la ville de Butembo à l'Est de Congo.

17. Saxena, P., Cutler, L., & Feldberg, L. (2004). Assessment of the severity of hand injuries using 'hand injury severity score', and its correlation with the functional outcome. *Injury*, 35(5), 511–516.
18. Dubert, T. (2011). État des lieux de la prise en charge des urgences main en France. *E-mémoires de l'Académie Nationale de Chirurgie*, 10(2), 27–30.
19. 1952, Carter BN. The fruition of Halsted's concept of surgical training. *Surgery et 32:518—27*.
20. Kotsis SV, Chung KC. Application of the "See One, Do One, Teach One" Concept in Surgical Training: *Plastic and Reconstructive Surgery* 2013 <https://doi.org/10.1097/PRS.0b013e318287a0b3>., 131:1194–201.
21. Forgione, Antonello & Guraya, Salman. The cutting-edge training modalities and educational platforms for accredited surgical training: A systematic review. *Journal of Research in Medical Sciences*.
22. Education, Tardif J. L'évaluation des compétences. Documenter le parcours de développement. Chenelière.
23. Memon, Breda & Memon, Muhammed. Mentoring and surgical training: A time for reflection!. *Advances in Health Sciences Education*. 2010.
24. Guide de bonnes pratiques en matière de simulation en santé, HAS 2012.
25. Mavrogenis, AF, Markatos, K., Saranteas, T., Ignatiadis, I., Spyridonos, S., Bumbasirevic, M., ... Soucacos, PN (2019). L'histoire de la microchirurgie. *Revue européenne de chirurgie orthopédique et de traumatologie*.

26. Komatsu S, Tamai S. Successful replantation of a completely cutoff thumb: case report. *Plast Reconstr Surg.* 1968 et 374-7, 42:.
27. Merle M, Dautel G, La main traumatique, l'urgence 1992,69-74.
28. Mohammed, F. A. R. E. H. (2019). La microchirurgie en chirurgie réparatrice: aspects théoriques et cas cliniques Expérience du Service de Chirurgie Plastique et Réparatrice de l'Hôpital Militaire Moulay-Ismaïl de Meknès (à propos de 9 cas).
29. El Bakkali, G. (2017). Revascularisations digitales (sur 18 cas).
30. Dictionnaire Larousse poche 2024, New edition. Paris: Larousse dictionnaires, 2023.
31. Al-Elq, A. H. (2010). Simulation-based medical teaching and learning. *Journal of family and Community Medicine*, 17(1), 35-40.
32. 1982, Maciocia G. History of acupuncture. *J Chin Med* et 9:9Y15.
33. Ramsey, M. (1999). *The King's Midwife: A History and Mystery of Madame du Coudray.*
34. Owen, H. (2012). Early use of simulation in medical education. *Simulation in healthcare*, 7(2), 102-116.
35. P. Safar et M. McMAHON, « Mouth-to-airway emergency artificial respiration », *J. Am. Med. Assoc.*, vol. 166, n o 12, p. 1459-1460, mars 1958, doi: 10.1001/jama.1958.02990120051010.

36. Cooper, J. B., & Taqueti, V. (2008). A brief history of the development of mannequin simulators for clinical education and training. *Postgraduate medical journal*, 84(997), 563–570.
37. Gough, S., Hellaby, M., Jones, N., & MacKinnon, R. (2012). A review of undergraduate interprofessional simulation-based education (IPSE). *Collegian*, 19(3), 153–170.
38. Forrest, K., & McKimm, J. (Eds.). (2019). *Healthcare simulation at a glance*. John Wiley & Sons.
39. Mouhaoui, M., Moussaoui, M., Yaqini, K., Khaleq, K., & Louardi, H. (2012). *La simulation médicale au Maghreb: état des lieux et perspectives*. Session conjointe SFMU/Société Maghrébine de Médecine d'urgence.
40. Ahmed, H. B., & Dziri, C. (2020). Histoire de la simulation médicale History of medical simulation. *LA TUNISIE MEDICALE*, 98(12), 892–894.
41. 1987, Ferrari G: Public anatomy lessons and the carnival: The anatomy theatre of Bologna. *Past Present et* 117:50–106.
42. A. Schneider U, Heller R: Plastic bone used for training purposes by surgeons. US patent 4,106,219. August 15, 1978.
43. Atesok, K., Mabrey, J. D., Jazrawi, L. M., & Egol, K. A. (2012). Surgical Simulation in Orthopaedic Skills Training. *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 20(7), 410–422. doi:10.5435/jaaos-20-07-410.

44. Choi, W., Dyens, O., Chan, T., Schijven, M., Lajoie, S., Mancini, M. E., ... & Aggarwal, R. (2017). Engagement and learning in simulation: recommendations of the Simnovate Engaged Learning Domain Group.
45. G. D. Sahakian et al., « Référentiel sur l'élaboration de scénarios de simulation en immersion clinique », p. 22.
46. Horne, D. J., Tiller, J. W., Eizenberg, N., Tashevskia, M., & Biddle, N. (1990). Reactions of first-year medical students to their initial encounter with a cadaver in the dissecting room. Aca).
47. Archibald, J. Canine Surgery. American Veterinary Publications, Santa Barbara.
48. premium/animal-surgery-600005, Madzia71.
49. Kettler, A., Liakos, L., Haegele, B., & Wilke, H. J. (2007). Are the spines of calf, pig and sheep suitable models for pre-clinical implant tests?. European Spine Journal, 16, 2186-2192.
50. Martin, X., & Crouzet, S. (2010). Utilisation de simulateurs pour l'enseignement de la chirurgie. e-mémoires de l'Académie Nationale de Chirurgie, 9(4), 088-091.
51. Crothers, I. R., et al. "Experienced laparoscopic surgeons are automated to the "fulcrum effect": an ergonomic demonstration."
52. Heng, Pheng-Ann, et al. "Virtual reality based system for training on knee arthroscopic surgery." Studies in health technology and informatics.

53. Ralston MR, An exploration of the use of social media by surgical colleges et International Journal of Surgery Volume 12, Issue 12, December 2014.

54. multiprofessionnelle, Guide pédagogique de l'OMS pour la sécurité des patients : édition.

55. Langley GJ, nolan KM, norman CL, provost LP, nolan TW The improvement guide : a practical approach to enhancing organizational performance 1996.

56. L. T. Kohn, J. Corrigan, et M. S. Donaldson, Éd., To err is human: building a safer health system. Washington, D.C: National Academy Press, 2000.

57. Kolb, A., & Kolb, D. (2018). Eight important things to know about the experiential learning cycle. Australian educational leader, 40(3), 8-14.

58. Radcliffe, Bandaranayake RC. The Integrated Medical Curriculum. et p., 2011. 151.

59. Van Merriënboer, J. J., & Kirschner, P. A. (2017). Ten steps to complex learning: A systematic approach to four-component instructional design. Routledge.

60. Bradley, P. (2006). The history of simulation in medical education and possible future directions. Medical education, 40(3), 254-262.

61. Salas, E., DiazGranados, D., Weaver, S. J., & King, H. (2008). Does team training work? Principles for health care. Academic Emergency Medicine, 15(11), 1002-1009.

62. Cook DA, Hatala R, Brydges R, et al. Technology-enhanced simulation for health professions education: a systematic review and meta-analysis. *JAMA*. 2011 et 978-88., 306(9) :.

63. Reader, T. W. (2011). Learning through high-fidelity anaesthetic simulation: the role of episodic memory. *British journal of anaesthesia*, 107(4), 483-487.

64. Queva, C. (2015). La simulation médicale comme moyen pédagogique : intérêt à un an. [Thèse de doctorat en médecine]. Université du droit et de la santé, Lille 2, France.

65. Tolba, R. H., Czigány, Z., Osorio Lujan, S., Oltean, M., Axelsson, M., Akelina, Y., ... & Nemeth, N. (2017). Defining standards in experimental microsurgical training: recommendations of the European Society for Surgical Research (ESSR) ..

66. Atlan, M. (2016). Implantation et évaluation de micro-implants vasculaires(< 2mm), à base d'alcool polyvinylique. [Thèse de doctorat en Sciences de l'Ingénieur, Mention Génie Biologique et Médical]. Université Paris 13, France.

67. Guerreschi, P., Qassemyar, A., Thevenet, J., Hubert, T., Fontaine, C., & Duquennoy-Martinot, V. (2014). Reducing the number of animals used for microsurgery training programs by using a task-trainer simulator. *Laboratory animals*, 48(1), 72-77.

68. Cox M, Irby DM, Reznick RK, MacRae H. Teaching Surgical Skills – Changes in the Wind. *N Engl J Med*. 2006 et 355(25):2664-9.

69. Mücke T, Borgmann A, Ritschl LM, Kesting MR, Loeffelbein DJ, Wolff K-D. Microvascular training of medical students and surgeons – A comparative prospective study. *J Craniomaxillofac Surg.* 2013 et 41(8):187–90.
70. Illie VG, Ilie VI, Dobreanu C, Ghetu N, Luchian S, Pieptu D. Training of microsurgical skills on nonliving models. *Microsurgery.* 2008 et 28(7):571–7.
71. CHAN, Woan-Yi, MATTEUCCI, Paolo, et SOUTHERN, Stephen J. Validation of microsurgical models in microsurgery training and competence: a review. *Microsurgery*, 2007, vol. 27, no 5, p. 494–499.
72. Yenidunya, M. O., Tsukagoshi, T., & Hosaka, Y. (1998). Microsurgical training with beads. *Journal of Reconstructive Microsurgery*, 14(03), 197–198.
73. PELED, Isaac J., KAPLAN, Haim Y., et WEXLER, Menachem R. Microsilicone anastomoses. *Annals of Plastic Surgery*, 1983, vol. 10, no 4, p. 331–332.
74. Mohammad, Saeed, et al. "Validating a low-fidelity model for microsurgical anastomosis training." *JBS Open Access* 6.3 (2021): e20.
75. AVELAR, TIAGO, et al. "Evaluation of konjac noodle as a microsurgery training model: learning curve analysis." *Revista do Colégio Brasileiro de Cirurgiões* 50 (2023): e20233528.
76. Erel E, Aiyenibe B, Butler PEM. Microsurgery simulators in virtual reality: review. *Microsurgery.* 2003 et 23(2):147–52.
77. Darzi, A., & Mackay, S. (2001). Assessment of surgical competence. *BMJ Quality & Safety*, 10(suppl 2), ii64–ii69.

78. Leung CC, Ghanem AM, Tos P, Ionac M, Froschauer S, Myers SR : Vers une compréhension et une normalisation mondiales de l'enseignement et de la formation en microchirurgie. Arch Plast Surg 2013 et 304-311., 40 .:

79. 37 Ghanem AM, Hachach-Haram N, Leung CC, Myers SR : Une revue systématique des preuves en matière d'éducation et interventions de formation en microchirurgie. Arch Plast Surg 2013 et 40:312-319.

80. Kolbensschlag J, Gehl B, Daigeler A, Kremer T, Hirche C, Vogt PM, Horch R, Lehnhardt M, Kneser U : Formation en microchirurgie en Allemagne - résultats d'une enquête auprès des formateurs et des stagiaires (en allemand). Handchir Microchir Plast Chir 2014.

81. 39 Al-Bustani S, Halvorson EG : État de la formation à la simulation microchirurgicale en chirurgie plastique : une enquête auprès des États-Unis Directeurs de programme des États. Ann Plast Surg 2016 et 76:713-716.

82. 40 Goossens DP, Gruel SM, Rao VK : Une étude sur la formation en microchirurgie aux États-Unis. Microchirurgie 1990 : 11:2-4.

83. Alzakri A, Al-Rajeh M, Liverneaux PA, Facca S : Cours de techniques microchirurgicales en France et à l'étranger (en Français). Chir Main 2014 et 219-223., 33 .:

84. Di Cataldo A, Puleo S, Rodolico G : Trois cours de microchirurgie à Catane. Microsurgery 1998 et 18:449-453.

85. CHAN, Woan-Yi, MATTEUCCI, Paolo, et SOUTHERN, Stephen J. Validation of microsurgical models in microsurgery training and competence: a review. Microsurgery, 2007, vol. 27, no 5, p. 494-499.

86. Chan W, Niranjana N, Ramakrishnan V. Structured assessment of microsurgery skills in the clinical setting. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*. 2010 et 63(8):1329–34.

87. Hiroaki Niitsu H, Hirabayashi N, Yoshimitsu M, Mimura T et al. Using the Objective Structured Assessment of Technical Skills (OSATS) global rating scale to evaluate the skills of surgical trainees in the operating room. *Surg Today*. 2013 et 43:271–275.

88. Temple CL, Ross DC. A new, validated instrument to evaluate competency in microsurgery: the University of Western Ontario Microsurgical Skills Acquisition/Assessment instrument. *Plast Reconstr Surg*. 2011 et 127(1):215–22.

89. McGoldrick, R. B., Davis, C. R., Paro, J., Hui, K., Nguyen, D. H., Lee, G. K. Motion Analysis for Microsurgical Training: Objective Measures of Dexterity, Economy of Movement, and Ability. *Plast Reconstr Surg*. 2015 et 231–240., 136 (2):.

90. Balasundaram I, Aggarwal R, Darzi LA. Development of a training curriculum for microsurgery. *Br J Oral Maxillofac Surg*. 2010 et 48(8):598–606.

91. Aoun SG, El Ahmadieh TY, El Teclé NE, Daou MR, Adel JG, Park CS, et al. A pilot study to assess the construct and face validity of the Northwestern Objective Microanastomosis Assessment Tool. *J Neurosurg*. 2015 et 123(1):103–9.

92. Gofton WT, Dudek NL, Wood TJ, Balaa F, Hamstra SJ. The Ottawa Surgical Competency Operating Room Evaluation (O---SCORE): a tool to assess surgical competence.

93. Cremers SL, Lora AN, FerrufinoPonce ZK. Global Rating Assessment of Skills in Intraocular Surgery (GRASIS). *Ophthalmology*. 2005 et 112(10):1655-60.

94. Selby, C. et al. Set up and run an objective structured clinical exam. *Br Med J*. 1995 et 1190, 310:1187-.

95. Elliott, L. R., & Coovert, M. D. (2017). *Scaled worlds: Development, validation and applications*. Taylor & Francis.

96. humain, Atlas photographique et vidéos de dissection du corps.



أطروحة رقم 25/074

سنة 2025

تقييم تدريب بالمحاكاة في جراحة الأوعية الدموية والأعصاب لليد المصابة.

تجربة قسم جراحة العظام والمفاصل B4 بالمستشفى الجامعي الحسن الثاني بفاس

الأطروحة

قدمت و نوقشت علانية يوم 2025/02/12

من طرف

السيدة الدسراوي منال
المزداة في 10 غشت 1999 بفاس

لنيل شهادة الدكتوراه في الطب

الكلمات المفتاحية

المحاكاة الطبية - إصابة اليد - الجراحة المجهرية - التكوين الجراحي - جراحة العظام والمفاصل

اللجنة

السيد المريني عبد المجيد..... الرئيس

أستاذ في جراحة العظام والمفاصل

السيد عبيد حاتم..... المشرف

أستاذ في جراحة العظام والمفاصل

السيد الإدريسي محمد.....
أستاذ في جراحة العظام والمفاصل
السيد جبير حميد.....

أستاذ في جراحة الأوعية الدموية