



كلية الطب  
والصيدلة - مراكش  
FACULTÉ DE MÉDECINE  
ET DE PHARMACIE - MARRAKECH

Année 2023

Thèse N°249

# Effacité d'un programme à trois étapes dans l'apprentissage de la microchirurgie pour les résidents de traumatologie-orthopédie

---

## THÈSE

PRÉSENTÉE ET SOUTENUE PUBLIQUEMENT LE 07/07/2023

PAR

**Mme . SOUSSI CHAIMAE**

Née le 18/06/1997 à Rabat

Ancienne interne au CHU Souss Massa

POUR L'OBTENTION DU DOCTORAT EN MÉDECINE

---

## MOTS-CLÉS

Microchirurgie- Apprentissage - Simulation

---

## JURY

<b>Mme.</b>	<b>H.EL HAOURY</b> Professeur de l'enseignement supérieur en traumatologie-orthopédie	<b>PRESIDENT</b>
<b>Mr.</b>	<b>K.RAFIQI</b> Professeur agrégé en traumatologie-orthopédie	<b>RAPPORTEUR</b>
<b>Mr.</b>	<b>R.CHAFIK</b> Professeur de l'enseignement supérieur en traumatologie-orthopédie	} <b>JUGES</b>
<b>Mr.</b>	<b>M.D.EL AMRANI</b> Professeur de l'enseignement supérieur en anatomie	
<b>Mr.</b>	<b>M.A. BENHIMA</b> Professeur de l'enseignement supérieur en traumatologie-orthopédie	



رَبِّ أَوْزَعْنِي أَنْ أَشْكُرَ نِعْمَتَكَ الَّتِي  
أَنْعَمْتَ عَلَيَّ وَعَلَى وَالِدَيَّ وَأَنْ أَعْمَلَ  
صَالِحًا تَرْضَاهُ وَأَصْلِحْ لِي فِي ذُرِّيَّتِي إِنِّي  
تُبْتُ إِلَيْكَ وَإِنِّي مِنَ الْمُسْلِمِينَ



الأحقاف: 15





{ قالوا سبحانك لا علم لنا إلا ما  
علمتنا إنك أنت العليم الحكيم }

صدق الله العظيم  
سورة البقرة " آية 32 "

## ***Serment d'Hippocrate***

*Au moment d'être admis à devenir membre de la profession médicale, je m'engage solennellement à consacrer ma vie au service de l'humanité. Je traiterai mes maîtres avec le respect et la reconnaissance qui leur sont dus.*

*Je pratiquerai ma profession avec conscience et dignité. La santé de mes malades sera mon premier but.*

*Je ne trahirai pas les secrets qui me seront confiés.*

*Je maintiendrai par tous les moyens en mon pouvoir l'honneur et les nobles traditions de la profession médicale.*

*Les médecins seront mes frères.*

*Aucune considération de religion, de nationalité, de race, aucune considération politique et sociale, ne s'interposera entre mon devoir et mon patient.*

*Je maintiendrai strictement le respect de la vie humaine dès sa conception.*

*Même sous la menace, je n'userai pas mes connaissances médicales d'une façon contraire aux lois de l'humanité.*

*Je m'y engage librement et sur mon honneur.*

***Déclaration Genève, 1948***



# LISTE DES PROFESSEURS



**UNIVERSITE CADI AYYAD**  
**FACULTE DE MEDECINE ET DE PHARMACIE**  
**MARRAKECH**

Doyens Honoraires

:Pr. Badie Azzaman MEHADJI

:Pr. Abdelhaq ALAOUI YAZIDI

**ADMINISTRATION**

Doyen

:Pr. Mohammed BOUSKRAOUI

Vicedoyen à la Recherche et la Coopération

:Pr. Mohamed AMINE

Vicedoyen aux Affaires Pédagogiques

:Pr. Redouane ELFEZZAZI

Vicedoyen chargé de la Pharmacie

:Pr. Said ZOUHAIR

Secrétaire Générale

:Mr. Azzeddine ELHOUDAIGUI

**Professeurs de l'Enseignement Supérieur**

Nom et Prénom	Spécialité	Nom et Prénom	Spécialité
ABIR Badreddine	Stomatologie et chirurgie maxillo faciale	ATMANE Mehdi	Radiologie
ABKAR Imad	Traumatologie-orthopédie	BAIZRI Hicham	Endocrinologie et maladies métaboliques
ABOUELHASSAN Taoufik	Anesthésie-réanimation	BASRAOUI Dounia	Radiologie
ABOUCHADI Abdeljalil	Stomatologie et chirurgie maxillo faciale	BASSIR Ahlam	Gynécologie-obstétrique
ABOULFALAH Abderrahim	Gynécologie-obstétrique	BELBACHIR Anass	Anatomie pathologique
ABOUSSAÏR Nisrine	Génétique	BELBARAKAR hizlane	Oncologie médicale
ADALI Imane	Psychiatrie	BELKHOUI Ahlam	Rhumatologie
ADARMOUCH Latifa	Médecine communautaire (médecine préventive, santé publique et hygiène)	BENDRISS Laila	Cardiologie
ADMOU Brahim	Immunologie	BENALI Abdeslam	Psychiatrie
AGHOUTANEI Mouhtadi	Chirurgie pédiatrique	BENCHAMKHAY Assine	Chirurgie réparatrice et plastique
AISSAOUI Younes	Anesthésie-réanimation	BENELKHAÏT BENOMAR Ridouan	Chirurgie générale
AITAMEUR Mustapha	Hématologie biologique	BENHIMAM Mohamed Amine	Traumatologie-orthopédie
AITBATAHAR Salma	Pneumo-phtisiologie	BENJELLOUN HARZIMI Amine	Pneumo-phtisiologie
AITBENALI Said	Neurochirurgie	BENJILALI Laila	Médecine interne
AIT-SABI Imane	Pédiatrie	BOUCHENTOUF Rachid	Pneumo-phtisiologie
ALJ Soumaya	Radiologie	BOUKHANNI Lahcen	Gynécologie-obstétrique
AMAL Said	Dermatologie	BOUKHIRA Abderrahman	Biochimie-chimie
AMINE Mohamed	Epidémiologie clinique	BOUMZEBRAD Drissi	Chirurgie Cardio-vasculaire

AMMARHaddou	Oto-rhino-laryngologie	BOURRAHOUATAAicha	Pédiatrie
AMROLamyae	Pneumo-phtisiologie	BOURROUS Monir	Pédiatrie

ANIBAKhalid	Neurochirurgie	BOUSKRAOUIMohammed	Pédiatrie
ARSALANELamiaie	Microbiologie-virologie	BSISSMohammedAziz	Biophysique
ASMOUKIHamid	Gynécologie-obstétrique	CHAFIKRachid	Traumato-orthopédie
CHAKOURMohammed	Hématologiebiologique	HAZMIRIFatimaEzzahra	Histologie-embryologie cytogénétique
CHELLAKSaliha	Biochimie-chimie	HOCAROuafa	Dermatologie
CHERIFIDRISSIELGANOUNI Najat	Radiologie	JALALHicham	Radiologie
CHOULLIMohamedKhaled	Neuropharmacologie	KADDOURISaid	Médecineinterne
CHRAAMohamed	Physiologie	KAMILIEOuafiElAouni	Chirurgiepédiatrique
DAHAMIZakaria	Urologie	KHALLOUKIMohammed	Anesthésie-réanimation
DAROUASSIYoussef	Oto-rhino-laryngologie	KHATOURIAli	Cardiologie
DRAISSGhizlane	Pédiatrie	KHOUCHANIMouna	Radiothérapie
ELADIBAhmedRhassane	Anesthésie-réanimation	KISSANINajib	Neurologie
ELAMRANIMoulayDriss	Anatomie	KRATIKhadija	Gastro-entérologie
ELANSARINawal	Endocrinologieet maladies métabolique	KRIETMohamed	Ophthalmologie
ELBARNIRachid	Chirurgiegénérale	LAGHMARIMehdi	Neurochirurgie
ELBOUCHTIlmane	Rhumatologie	LAHKIMMohammed	Chirurgiegénérale
ELBOUIHIMohamed	Stomatologieet chirurgiemaxillo faciale	LAKMICHIMohamedAmine	Urologie
ELFEZZAZIRedouane	Chirurgiepédiatrique	LAKOUICHMIMohammed	Stomatologieet chirurgiemaxillo faciale
ELHAOUATIRachid	Chirurgie Cardio-vasculaire	LAOUADInass	Néphrologie
ELHAOURYHanane	Traumato-orthopédie	LOUHABNisrine	Neurologie
ELHATTAOUIMustapha	Cardiologie	LOUZIAbdelouahed	Chirurgie-générale
ELHOUDZIJamila	Pédiatrie	MADHARSiMohamed	Traumato-orthopédie
ELIDRISSILITINENadia	Pédiatrie	MANOUDIFatiha	Psychiatrie
ELKAMOUNIYoussef	Microbiologie-virologie	MANSOURINadia	Stomatologieet chirurgiemaxillo Faciale
ELKARIMISaloua	Cardiologie	MAOULAININEFadlMrabihrabou	Pédiatrie(Néonatalogie)
ELKHADERAhmed	Chirurgiegénérale	MARGADOmar	Traumatologie-orthopédie
ELKHAYARIMina	Réanimationmédicale	MATRANEAboubakr	Médecinenucléaire
ELMEZOUARIEIMostafa	Parasitologieetmycologie	MLIHATOUATIMohammed	Oto-rhino-laryngologie
ELMGHARITABIBGhizlane	Endocrinologieetmaladies métaboliques	MOUAFFAKYoussef	Anesthésie-réanimation

ELOMRANIAbdelhamid	Radiothérapie	MOUFIDKamal	Urologie
ELFIKRIAbdelghani	Radiologie	MOUHSINEAbdelilah	Radiologie
ESSAADOUNILamiaa	Médecineinterne	MOUTAJRedouane	Parasitologie
FADILIWafaa	Néphrologie	MOUTAOUAKILAbdeljalil	Ophthalmologie
FAKHIRBouchra	Gynécologie–obstétrique	MSOUGARYassine	Chirurgiethoracique
FAKHRIAnass	Histologie– embyologiecytogénétique	NARJISYoussef	Chirurgiegénérale
FOURALJIKarima	Chirurgiepédiatrique	NEJMIHicham	Anesthésie–réanimation
GHANNANEHoussine	Neurochirurgie	NIAMANERadouane	Rhumatologie
GHAZIMirieme	Rhumatologie	OUALIIDRISSIMariem	Radiologie
GHOUNDALEOmar	Urologie	OUBAHASofia	Physiologie

HACHIMIAbdelhamid	Réanimationmédicale	OULADSAIADMohamed	Chirurgiepédiatrique
HAJJIBtissam	Ophthalmologie	QACIFHassan	Médecineinterne
HAROUKaram	Gynécologie–obstétrique	QAMOUSYoussef	Anésthésieréanimation
RABBANIKhalid	Chirurgiegénérale	TAZIMohamedIllias	Hématologieclinique
RADANoureddine	Pédiatrie	TOURABIKhalid	Chirurgieréparatrice etplas- tique
RAISHanane	AnatomiePathologique	YOUNOUSSaid	Anesthésie–réanimation
RAJIAbdelaziz	Oto–rhino–laryngologie	ZAHLANEKawtar	Microbiologie–virologie
ROCHDIYoussef	Oto–rhino–laryngologie	ZAHLANEMouna	Médecineinterne
SALAMATarik	Chirurgiepédiatrique	ZAOUISanaa	Pharmacologie
SAMKAOUIMohamed Abdenasser	Anesthésie–réanimation	ZARROUKIYoussef	Anesthésie–réanimation
SAMLANIZouhour	Gastro–entérologie	ZEMRAOUINadir	Néphrologie
SARFIsmail	Urologie	ZIADIAmra	Anesthésie–réanimation
SERGHINIIssam	Anesthésie–réanimation	ZIDANEMoulayAbdelfettah	Chirurgiethoracique
SORAAAbila	Microbiologie–virologie	ZOUHAIRSaid	Microbiologie
SOUMMANIAbderraouf	Gynécologie–obstétrique	ZYANIMohammad	Médecineinterne
TASSINoura	Maladies infectieuses		

### Professeurs Habilités (PH)

NometPrénom	Spécialité	NometPrénom	Spécialité
-------------	------------	-------------	------------



FDILNaima	Chimie decoordinationbio-organique		
GEBRATILhoucine	Chimie		
LOQMANSouad	Microbiologieettoxicologie environnementale		

### Professeurs Agrégés

NometPrénom	Spécialité	NometPrénom	Spécialité
ABDELFETTAHYouness	Rééducationnéphrologie fonctionnelle	HAJJIFouad	Urologie
ABDOUAbdessamad	Chirurgie Cardio-vasculaire	HAMMOUNENabil	Radiologie
AKKARachid	Gastro-entérologie	JALLALHamid	Cardiologie
ALJALILAbdelfattah	Oto-rhino-laryngologie	JANAHHicham	Pneumo-phtisiologie
ARABIHafid	Médecinephysique etréadapta- tionfonctionnelle	LAFFINTIMahmoudAmine	Psychiatrie
ARSALANEAdil	Chirurgiethoracique	MAOUJOUDOmar	Néphrologie
ASSERRAJMohammed	Néphrologie	MESSAOUDIRedouane	Ophtalmologie
BAALLALHassan	Neurochirurgie	MILOUDIMouhcine	Microbiologie-virologie
BABAHicham	Chirurgie générale	NADERYoussef	Traumatologie-orthopédie
BAKZAZAOualid	Chirurgie Vasculairepériphérique	NASSIMSABAHTaoufik	Chirurgieréparatrice etplas- tique
BELFQUIHHatim	Neurochirurgie	OUMERZOUKJawad	Neurologie
BELGHMAIDISarah	Ophtalmologie	RAISSIAbderrahim	Hématologieclinique
BELHADJAYoub	Anesthésie-réanimation	REBAHIHoussam	Anesthésie-réanimation
BELLASRISalah	Radiologie	RHARRASSIIssam	Anatomie-patologique
BENNAOUIFatiha	Pédiatrie	SEBBANIMajda	Médecine Commu- nautai- re(Médecinepréventi ve,santé publiqueethygiene
BOUZERDAAbdelmajid	Cardiologie	SEDDIKIRachid	Anesthésie-réanimation
EL-AKHIRIMohammed	Oto-rhino-laryngologie	SIRBOURachid	Médecine d'urgence et de- catastrophe
ELBAZMeriem	Pédiatrie	ZBITOUMohamedAnas	Cardiologie
ESSADIIsmail	Oncologiemédicale	ZOUIZRAZahira	Chirurgie Cardio-vasculaire
FENANEHicham	Chirurgiethoracique		

### Professeurs Assistants

NometPrénom	Spécialité	NometPrénom	Spécialité
AABBASSIBouchra	Pédopsychiatrie	DAMIAbdallah	MédecineLégale
ABALLANajoua	Chirurgie pédiatrique	DARFAOUI Mouna	Radiothérapie
ABOUDOURIBMaryem	Dermatologie	DOUIREKFouzia	Anesthésie-réanimation
ABOULMAKARIMSiham	Biochimie	DOULHOSNEHassan	Radiologie
ACHKOUNAbdessalam	Anatomie	ELAMIRIMyAhmed	ChimiedeCoordinationbio-

			organique
AHBALATariq	Chirurgie générale	ELFADLIMohammed	Oncologie médicale
AITERRAMIAdil	Gastro-entérologie	ELFAKIRIKarima	Pédiatrie
AITLHAJEIHoussaine	Ophtalmologie	ELGAMRANIYounes	Gastro-entérologie
AMINEAbdellah	Cardiologie	ELHAJJAMIYoub	Radiologie
ARROBADil	Chirurgie réparatrice et plastique	ELHAKKOUNIAwatif	Parasitologie mycologie
AZAMIMohamedAmine	Anatomie pathologique	ELHAMDAOUIOmar	Toxicologie
AZIZZakaria	Stomatologie et chirurgie maxillofaciale	ELJADIHamza	Endocrinologie et maladies métaboliques
AZIZIMounia	Néphrologie	ELKHASSOUIAmine	Chirurgie pédiatrique
BELARBIMarouane	Néphrologie	ELMOUHAFIDFaisal	Chirurgie générale
BENAMEUR Yassir	Médecine nucléaire	ELATIQUIOumkeltoum	Chirurgie réparatrice et plastique
BENANTARLamia	Neurochirurgie	ELJAMILIMohammed	Cardiologie
BENCHAFAILlias	Oto-rhino-laryngologie	ELOUARDIYoussef	Anesthésie-réanimation
BENYASSYoussef	Traumato-orthopédie	EL-QADIRYRabiy	Pédiatrie
BENZALIMMeriam	Radiologie	ESSAFTIMeryem	Anesthésie-réanimation
BOUHAMIDIAhmed	Dermatologie	FASSIFIHRIMohamedjawad	Chirurgie générale
BOUMEDIANEEMehdi	Traumato-orthopédie	FIKRIOussama	Pneumo-phtisiologie
BOUTAKIOUTEBadr	Radiologie	HAJHOUJIFarouk	Neurochirurgie
CHEGGOURMouna	Biochimie	HAMRIAsma	Chirurgie Générale
CHETOUIAbdelkhalek	Cardiologie	HAZIMERaja	Immunologie
CHETTATIMariam	Néphrologie	IDALENEMalika	Maladies infectieuses

JEBRANEIham	Pharmacologie	RAMRAOUI Mohammed-Es-said	Chirurgie générale
KHALLIKANESaid	Anesthésie-réanimation	RHEZALIManal	Anesthésie-réanimation
LACHHABZineb	Pharmacognosie	ROUKHSIRedouane	Radiologie
LAHLIMIFatimaEzzahra	Hématologie clinique	SAHRAOUI HoussamEddine	Anesthésie-réanimation
LAHMINIWidad	Pédiatrie	SALLAHIHicham	Traumatologie-orthopédie
LAKHDARYoussef	Oto-rhino-laryngologie	SAYAGHSanae	Hématologie
LALAOUI Abdessamad	Pédiatrie	SBAAIMohammed	Parasitologie-mycologie
LAMRANI HANCHI Asmae	Microbiologie-virologie	SBAIAsma	Informatique
LGHABIMajida	Médecine du Travail	SLIOUIBadr	Radiologie
MEFTAHAzzelarab	Endocrinologie et maladies métaboliques	WARDAKarima	Microbiologie

MOUGUIAhmed	Rhumatologie	YAHYAOUIHicham	Hématologie
MOULINESouhail	Microbiologie-virologie	YANISSESiham	Pharmacie galénique
NASSIHouda	Pédiatrie	ZIRAOUIOualid	Chimiéthérapeutique
RACHIDIHind	Anatomiepathologique	ZOUITABtissam	Radiologie
RAFISana	Endocrinologie et maladiesmétabo- liques		

**LISTE ARRETEE LE 03/04/2023**



# DEDICACES





*Je dédie cette Thèse...*



*Tout d'abord à Allah,*

اللهم لك الحمد حمداً كثيراً طيباً مباركاً فيه حمد ظنك ورضى نفسك ووزنة  
عرشك ومداد كلماتك اللهم لك الحمد ولك الشكر حتى ترضى ولك الحمد ولك  
الشكر عند الرضى ولك الحمد ولك الشكر دائماً وأبداً على نعمتك

*Au bon Dieu, le Tout Puissant, Qui m'a inspiré, Qui m'a guidée sur le  
droit chemin. Je vous dois ce que j'étais, Ce que je suis et ce que je serais  
Inchaallah. Soumission, louanges et remerciements pour votre clémence et  
miséricorde.*

## ***A ma Maman Chérie HANANE,***

*Maman, tu es bien plus qu'une mère. Tu es mon amie, ma confidente et mon modèle de vie. Tu as toujours été là pour moi, me réconfortant dans les moments de tristesse et célébrant mes succès avec une joie immense.*

*Au fil des années, tu as été ma plus grande source d'inspiration et de soutien inconditionnel. Aujourd'hui, alors que j'achève cette étape importante de ma vie académique, je souhaite te dédier ma thèse avec tout mon amour et ma gratitude infinie.*

*Tu as toujours été là pour moi, m'encourageant à poursuivre mes rêves, me guidant avec sagesse et m'offrant ton épaule aimante lorsque les défis semblaient insurmontables. Ton amour inébranlable et ta confiance en moi m'ont donné la force de persévérer, même lorsque les obstacles semblaient insurmontables. Chaque étape de ma vie, chaque réussite et chaque défi surmonté, je te les dois en grande partie. Ta patience, ton dévouement et ton amour inconditionnel m'ont donné la force et la confiance nécessaires pour avancer, même dans les moments les plus difficiles.*

*Merci d'avoir été ma maman extraordinaire, de m'avoir inculqué des valeurs nobles et de m'avoir montré l'importance de l'éducation. Cette dédicace est un humble témoignage de ma gratitude éternelle envers toi.*

*Je t'aime de tout mon cœur, maman chérie.*

## ***À mon papa extraordinaire RACHID,***

*Alors que je clôture ce chapitre mémorable de ma vie académique, je tiens à te dédier ma thèse avec une gratitude infinie. Tu as toujours été mon guide et mon inspiration et je souhaite t'exprimer toute ma reconnaissance.*

*Tu as été et resteras à jamais le modèle du meilleur papa au monde, et je tiens à te remercier pour tout ce que tu as sacrifié pour nous éduquer dans les meilleures conditions.*

*Tu as fait des sacrifices incroyables pour nous offrir une éducation de qualité. Je me souviens de tes journées de travail acharnées dans le seul but de nous donner les meilleures opportunités. Tu as renoncé à tant de choses pour que nous puissions avancer sur le chemin de la réussite, et je suis consciente de la valeur inestimable de ces sacrifices.*

*Aujourd'hui, en dédiant ma thèse à toi, je souhaite te remercier du plus profond de mon cœur. Merci d'avoir été le meilleur papa que je puisse imaginer, d'avoir été là dans les moments de joie et de peine, de m'avoir soutenu sans faille et de m'avoir montré que*

*re est un trésor inestimable.  
Je t'aime de tout mon cœur.*

*l'amour d'un père est un trésor inestimable.  
cœur, papa chérie.*

وَقُلْ رَبِّ ارْحَمْنِي  
كَمَا رَحِمْتَ ابْنِي صَغِيرًا

*À ma merveilleuse sœur OUMAIMA,*

*Cette dédicace est une humble expression de l'amour que je porte pour toi, ainsi qu'une reconnaissance profonde pour ta présence constante dans ma vie. Tu es bien plus qu'une sœur pour moi, tu es mon amie et ma confidente, toujours là pour me remonter le moral lorsque j'en avais le plus besoin.*

*Dans les moments de tristesse et de désespoir, tu as été mon pilier. Tes mots d'encouragement et ta présence réconfortante ont été une source de réconfort inestimable. Tu as su trouver les mots justes pour apaiser mes tourments et m'insuffler la force de continuer à avancer.*

*Tu es une source d'inspiration pour moi, avec ton courage, ta détermination et ta générosité. Tu as toujours été là pour moi, me tendant la main lorsque j'étais sur le point de tomber. Je suis bénie de t'avoir comme sœur, et je ne pourrais pas imaginer ma vie sans toi à mes côtés.*

*. Merci d'être cette sœur extraordinaire, d'avoir illuminé ma vie de ta présence et de m'avoir soutenu avec tant d'affection.*

*Je t'aime de tout mon cœur, ma chère sœur*

*À mon adorable petit frère YASSINE,*

*Tu es bien plus qu'un frère pour moi, tu es mon complice, mon confident et mon meilleur ami. À travers les rires partagés, les jeux complices et les moments de complicité, notre lien s'est renforcé au fil des années.*

*Je tiens également à te remercier du fond du cœur pour ton soutien moral inestimable tout au long de mes études. Les défis et les exigences de ce parcours étaient nombreux, mais grâce à toi, j'ai pu les affronter avec courage et détermination.*

*Je suis profondément reconnaissante d'avoir un frère aussi aimant et attentionné que toi*

*Que cette dédicace soit une preuve tangible de mon amour éternel pour toi et de ma gratitude infinie pour ton soutien inconditionnel.*

*Je t'aime de tout mon cœur, petit frère.*



*A mon cher Youssef,*

*Durant mes deux années d'internat, ta présence a été ma bouée de sauvetage. Tu m'as accompagnée à travers les hauts et les bas, me prodiguant ton soutien moral inestimable.*

*Je tiens également à te remercier du fond du cœur pour tout ce que tu m'as appris durant mon passage au service de traumatologie et pour ton précieux soutien tout au long de la préparation de ma thèse. Tes connaissances approfondies, ta passion contagieuse et ton dévouement envers ta spécialité ont été une source d'inspiration constante. Grâce à toi, j'ai pu grandir tant sur le plan professionnel que personnel.*

*Ta générosité sans bornes, ta personnalité magnifique et ta gentillesse infinie ont illuminé ma vie. Je suis incroyablement chanceuse de t'avoir comme ami.*

*Cette dédicace est un témoignage de mon amour sincère et de ma profonde gratitude envers toi. Tu es bien plus qu'un ami, tu es ma famille choisie, mon confident et mon complice de chaque instant.*

*Merci d'être cette personne extraordinaire à mes côtés.*

*A Mima Diali KENZA,*

*أهديك رسالة تثناء وحب بلا حدود وفي هذا اللحظة الهامة من حياتي*

*لقد كنت أكثر من مجردة بالنسبة لي، فأنت صديقتي ومعلمتي ومصدر إلهامي .*

*كنت دائماً معي، تُعزِّين في أوقات الحزن وتُفرحين بنجاحاتي بفرحة عارمة .*

*علمر السنين، كنت مصدر إلهامياً لكبر و دعم غير المشروط .*

*اليوم، وأنا أنهيهذا المرحلة المهمة في حياتي، أو وأنا أهديك رسالة تثناء و امتنانياً العميق لك حب و امتنانياً اللانه  
أي.*

*كنت دائماً معي، تشجيعيني على تحقيق أحلامي، تهديني ببجحتكم تكون تقديمي لي كتفك المحب في اللحظات التي يبدو فيها التح  
ديلاً يُطاق . لقد كنت أكثر من مجردة بالنسبة لي، فأنت صديقتي ومعلمتي ومصدر إلهامي .*

*فحبك الذي لا يعدو ثقتك بيمينحتنا القوة للمضي قدماً، شكر أميمة ديا لي أكون كنجمتيا الساطعة التي تنير لي الطريق .*

*À ma chère amie Sara et à sa merveilleuse famille,*

*Il est difficile de trouver les mots justes pour exprimer toute la gratitude et l'amour que je ressens envers vous.*

*Sara, tu es bien plus qu'une amie pour moi. Tu es ma deuxième sœur, ma partenaire de voyage et ma confidente la plus précieuse. Je tiens à te remercier, du fond du cœur, d'avoir été toujours présente à mes côtés. Tu as partagé mes moments de joie, séché mes larmes dans les moments les plus difficiles et m'as apporté un soutien inestimable à chaque étape de ma vie. Ta présence lumineuse et ton amour sincère ont illuminé mon chemin, et je suis incroyablement reconnaissante de t'avoir dans ma vie.*

*À Yusrati, Ayati et à tout le reste de la famille, je souhaite exprimer ma profonde gratitude pour tous les accueils chaleureux que j'ai reçus. Vous m'avez ouvert les portes de votre foyer avec une générosité sans égal, me traitant comme un membre de votre famille. Votre amour et votre considération ont créé un lien qui va bien au-delà de l'amitié..*  
*Je vous aime de tout mon cœur.*

***A Mima de Sara,***

*Votre générosité, vos prières, votre amour inconditionnel et les sacrifices que vous avez consentis pour Sara, Amine et moi durant nos périodes de préparation des examens ont été d'une importance capitale dans notre réussite. Vous avez joué un rôle crucial dans ce que nous sommes devenus aujourd'hui.*

*Merci du fond du cœur pour tout ce que vous avez fait pour nous.  
Je t'aime beaucoup Mima*

***A mon cher ami Mohammed Amine El Amghari***

*Tu as été bien plus qu'un simple ami pour moi, tu as été un frère sur qui je pouvais toujours compter. Ta main tendue dans les moments les plus difficiles a été une source de réconfort inestimable. Les moments de joie, de rires et de voyages que nous avons partagés resteront gravés dans ma mémoire à jamais.*

*Merci pour tout, Amine. Je suis fière de pouvoir t'appeler mon ami et mon frère*

*À ma chère et douce Sanae,*

*Je tiens à te dire à quel point je t'aime et à quel point tu es précieuse à mes yeux. Je n'ai jamais rencontré une personne aussi serviable et généreuse que toi.*

*Tu as toujours été là pour moi, prête à me tendre la main et à m'offrir ton soutien inconditionnel. Je te remercie du fond du cœur d'être ma confidente, de m'écouter attentivement et de partager tes précieux conseils.*

*Nos discussions téléphoniques qui durent des heures sont un véritable bonheur pour moi.*

*Même si la distance nous a séparés, sache que ta place dans mon cœur reste inchangée.*

***A mes chers amis Meryem TAFACHNAOUI et Youness TAITI,**  
Mes piliers de confiance et sources de joie constante, je vous dédie cette thèse avec une gratitude éternelle et un amour profond. Votre présence a été un cadeau précieux qui a enrichi chaque instant de ma vie*

***A la Famille Kejjî et la famille El Gharbí***

*A zamou Zaid et Tata Sabrina, je vous remercie du fond du cœur pour toutes les fois où vous m'avez tendu la main et apporté votre aide précieuse lorsque j'en avais besoin. Je suis très chanceuse de vous avoir dans ma vie.*

*To my adorable little NINIR, I love you so much and I am incredibly proud of you. I feel extremely lucky to have you in my life.*

*À ma chère amie Hafouda, malgré notre récente rencontre, tu as déjà une place précieuse dans ma vie et dans mon cœur, et je suis très reconnaissante d'avoir connue une personne adorable comme toi dans ma vie.*

*A Mr Soufiane EL GHARBI, je tiens à vous remercier pour votre présence à chaque fois où j'avais besoin d'aide durant mes années d'études à Marrakech.*

***À mes chères cousines Meryem et Hiba***

*Je tiens à vous dire que je vous aime de tout mon cœur et que pour moi, vous êtes bien plus que des cousines, vous êtes mes véritables sœurs. Votre absence me pèse énormément et je suis impatiente de vous retrouver au plus vite pour partager à nouveau des moments inoubliables ensemble. Je vous aime trop et vous me manquez énormément*

***A ma chère cousine Marwa et son mari***

*Ma cousine chérie, j'apprécie ta personnalité toujours joyeuse, généreuse et dotée d'un bon fond. Ta présence dans ma vie est une source de joie et de bonheur inestimables. Je t'aime beaucoup et suis très reconnaissante de t'avoir comme cousine et amie.*

*A Adam, le mari de ma cousine, je te dédie ce travail pour célébrer ta joyeuse intégration à notre famille*

### ***A Ma Famille Maternelle***

*A HbibíSmahemed, ma vie est remplie de joie grâce à ton amour, et ton humour infini.. Merci Hbibí pour toutes les fois où tu m'as tendu la main quand j'en avais besoin et sans aucune hésitation. Tu es un pilier essentiel dans ma vie et ton impact positif restera à jamais graver dans mon cœur. Tu as su me montrer que l'amour d'un oncle est un trésor inestimable. Je t'aime énormément HbibíLbeaugoss.*

*A mes chères tantes, KhaltíNajoua, Khaltí Kaoutar, Khaltí Ilham khaltíNisrine, Fatíma, et mes chers oncles zamou adil Adil zahír et zamou Brahím*

*je vous adresse cette dédicace pour vous exprimer tout mon amour et ma gratitude pour votre présence précieuse dans ma vie. Vous êtes une source d'amour inépuisable.*

### ***A ma famille paternelle***

*À ma merveilleuse tante Fatíha, un véritable rayon de soleil dans ma vie. Ta gentillesse inégalée, ton amour et ta générosité sans limites ont toujours su réchauffer mon âme. Je t'aime zemitou Fatíha*

*À ma chère tante Salíma, je souhaite te dédier ces mots pour te dire combien je t'aime et combien j'admire ton esprit toujours aussi jeune. Tu es une véritable source d'énergie et de chaleur bienfaisante.*

*À zemi Mouhssine, zemi Adíl, zamou Anass, zemi Abdelhak, Khaltí Khadíja, Khaltí Naíma et KhaltíMbarka,*

*cette thèse est dédiée avec gratitude, reconnaissant l'amour, les encouragements et la sagesse que vous avez généreusement partagés tout au long de mon chemin.*

*A mes chers cousins et cousines : Kenza, Yousra, Houda, Hadía, Hiba Soussi, Nouha, Ilyass, Zakaría, Khalíl, Soufiane, Houcine, Yahya, Adam, Anass, Mohammed, Islam, Haítham, Ziad :*

*Ma thèse vous est dédiée avec amour et reconnaissance, pour notre lien indéfectible et les précieux souvenirs partagés.*

*A mes chers ami(e)s : Ayman Sebbar, Sokayna Safadi, Khaoula Boureguba, Nassma Ait Abdelali, Wiam Timsahi, Nassima Abbassi, Malak Abbassi, Zineb Sounny Slitine, Chaimae Selkane, Selma Sidki, Abir Sa-laoui, Fatima ezzahra Yaagoubi, Fatima Ezzahra Ezzahir, Meryem Zeroual, Ines Youbi et Nour Cherradi:*

*Je vous dédie cette thèse avec une profonde affection, pour célébrer les liens indéfectibles que nous avons tissés. Votre amitié précieuse a illuminé ma vie de mille façons, et je suis infiniment reconnaissante d'avoir eu le privilège de vous connaître. Je vous aime tendrement et je me considère extrêmement chanceuse de vous avoir dans ma vie .*

*A ma chère nounou khadija :*

*Je te dédie cette phrase pour exprimer ma gratitude infinie d'avoir été élevée avec tant de tendresse et de soins. Je t'aime Khadija.*

*À la mémoire chère de mon oncle bien-aimé, hbibi Seddik,*

*Cette thèse est un témoignage de mon profond amour pour toi et de la place indélébile que tu occupes dans nos vies. Ta perte laisse un vide immense, mais ta présence demeure vivante dans nos souvenirs.*

*Chaque page de cette thèse est imprégnée de l'héritage que tu as laissé derrière toi : ton esprit éclairé, ton amour inconditionnel et ta bienveillance sans faille. Tu étais une source inépuisable d'inspiration et un pilier de soutien inestimable.*

*Tu seras à jamais gravé dans nos pensées, nos prières et nos souvenirs. Puissions-nous, à travers cette thèse, honorer ta mémoire et continuer à partager ton amour avec le monde.*

*" يا أيتها النفس المظمنة ارجع إلى ربك براضية مرضية فادخلي في عبادي وادخلي جنتي "*

*" اناللهو انا اليه راجعون "*

*A toute l'équipe du service d'ophtalmologie du CHU Souss massa  
d'Agadir.*

*A tous les membres de L'AMIAG*

*A tous ceux dont l'oubli de la plume n'est pas celui du coeur.*

*A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce tra-  
vail.*



**REMERCIEMENTS**



*A NOTRE MAITRE ET PRESIDENTE DE THESE PROFES-  
SEUR HANANE EL HAOURY*

PROFESSEUR DE L'ENSEIGNEMENTS UPÉRIEUR EN  
TRAUMATOLOGIE ORTHOPÉDIE AU SERVICE DE CHIRURGIE  
TRAUMATOLOGIQUE ET ORTHOPÉDIQUE (A)

*Nous sommes très sensibles à l'honneur que vous nous faites en acceptant de présider notre jury de thèse. Votre culture scientifique, votre compétence et vos qualités humaines ont suscité en nous une grande admiration, faisant de vous un exemple à suivre. Veuillez accepter, chère Maître, l'assurance de notre estime et de notre profond respect*

A MON MAÎTRE ET RAPPORTEUR DE THÈSE PROFESSEUR  
KAMAL RAFIQI

PROFESSEUR AGRÉGÉ EN TRAUMATOLOGIE ORTHOPÉDIE  
ET CHÉF DE SERVICE DE CHIRURGIE TRAUMATOLOGIQUE  
ET ORTHOPÉDIQUE DU CHU SOUSS MASSA  
AGADIR

*C'est avec un grand plaisir que je me suis adressée à vous dans le but de bénéficier de votre encadrement et j'étais très touchée par l'honneur que vous m'avez fait en acceptant de me confier ce travail. Je vous remercie pour la confiance que vous m'avez accordée en m'accueillant dans votre département. Vous m'avez toujours réservé le meilleur accueil, malgré vos obligations professionnelles. Je vous remercie infiniment, cher Maître, pour avoir consacré à ce travail une partie de votre temps précieux et de m'avoir guidé avec rigueur et bienveillance.*

*Merci également de m'avoir transmis vos connaissances et partager votre savoir tout au long de mon passage d'internat au service de Traumatologie Orthopédie. Votre savoir, votre intégrité et vos qualités humaines font de vous un modèle que je veux ou plutôt que j'espère atteindre un jour.*



A NOTRE MAÎTRE ET JUGE DE THÈSE  
PROFESSEUR CHAFIK RACHID  
PROFESSEUR DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR EN  
TRAUMATOLOGIE ORTHOPÉDIE ET CHEF DE SERVICE  
DE CHIRURGIE TRAUMATOLOGIQUE ET ORTHOPÉDIQUE  
(A)

*Vous nous avez fait un grand honneur en acceptant aimablement la présidence de notre jury de thèse. Homme de grandes valeurs, vous nous avez toujours marqué par votre compétence, votre charisme et votre humilité. Veuillez trouver ici, cher Maître, le témoignage de notre haute considération et de notre sincère respect*

A NOTRE MAÎTRE ET JUGE DE THÈSE  
PROFESSEUR MOHAMED AMINE BENHIMA  
PROFESSEUR DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR EN  
TRAUMATOLOGIE ORTHOPÉDIE AU SERVICE DE CHI-  
RURGIE TRAUMATOLOGIQUE ET ORTHOPÉDIQUE (B)

*Je suis infiniment sensible à l'honneur que vous me faites en acceptant de siéger parmi mon jury de thèse. Votre gentillesse, vos qualités humaines et votre modestie n'ont rien d'égal que votre compétence. Veuillez trouver ici, cher Maître, le témoignage de ma grande estime et de ma sincère reconnaissance*

A NOTRE MAÎTRE ET JUGE DE THÈSE  
PROFESSEUR MOULAY DRISS EL AMRANI  
PROFESSEUR DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR EN  
ANATOMIE ET CHÉF DE SERVICE DE CHIRURGIE PLAS-  
TIQUE ET RÉPARATRICE AU CHU MOHAMMED VI

*C'est pour moi un grand honneur de vous voir siéger dans notre jury. Je vous suis très reconnaissante de la spontanéité et de l'amabilité avec lesquelles vous avez accepté de juger mon travail. Je vous prie cher maître de trouver ici l'expression de mes remerciements et de mon grand respect*



**LISTE DES ABRÉVIATIONS**



## Liste des abréviations :

**MA** : Micro-Anastomose

**TT** :Termino-Terminale

**TL** :Termino-Latérale

**PP** : Proche en Proche

**R** : Résident

**FMPA** : Faculté de Medecine et de Pharmacie d'Agadir

**MM** : Micro-Montre

**Cotemi** : Compétence techniques en microchirurgie

**ACGME** : Accreditation Council for Graduate Medical Education

**3R** :Remplacement,Réduction,Raffinement

**KS** :KonnyakuShirataki

**PR** :PracticeRat

**TBBCTM** : The Blue Blood Chicken Thigh Models

**PTM** : Porcine Thigh Models

**LTM** :Lumbricusterrestris models

**Nd :YAG** : Neodymium Yttrium-Tetanyl-Phosphate



**LISTE DES FIGURES**



## LISTES DES FIGURES

- Figure 1** : Structure histologique d'une artère musculaire
- Figure 2** : Comparaison de la structure histologique d'une artère et d'une veine
- Figure 3** : Technique d'adventicectomie.
- Figure 4** : Distance à respecter entre une branche collatérale et l'anastomose Une distance minimale correspondant à trois fois le diamètre du vaisseau receveur est conseillée entre l'anastomose et la naissance de la branche collatérale.
- Figure 5** : Technique de biangulation. Positionnement des deux premiers points à 3 h et à 9h.
- Figure 6** : Technique de triangulation. Positionnement des deux premiers points à 2h et à 10h.
- Figure 7** : Suture de proche en proche. Premier point postérieur médian.
- Figure 8** : Anastomose termino-latérale Respect d'un angle de 45°. Une attention toute particulière doit être portée au niveau des points situés dans l'angle aigu.
- Figure 9** : Astuce technique : passage des deux derniers points. L'aiguille numéro 1 charge les deux berges et reste en place, laissant ouverte la ligne de suture. L'aiguille numéro 2 correspondant au dernier point est passée avec un contrôle direct de la paroi postérieure. Le fil numéro 2 est noué. Le fil numéro 1 est noué en toute sécurité
- Figure 10** : Astuce technique : réalisation des deux derniers points du plan postérieur.
- Figure 11** : Structure générale du neurone périphérique
- Figure 12** : Connexions centrales et périphériques du nerf périphérique
- Figure 13** : Aspect général des éléments périaxonaux
- Figure 14** : Architecture du nerf périphérique
- Figure 15** : Les différents types des lésions nerveuses
- Figure 16** : Technique de suture épi-périneurale
- Figure 17** : Laboratoire de microchirurgie de la faculté de médecine et de pharmacie d'Agadir
- Figure 18** : Système de vision : ZEISS Microscope laboratoire de microchirurgie FMPA.
- Figure 19** : Fils de sutures
- Figure 20** : boîte des instruments de microchirurgie de la FMPA : un porte-lame(a), pince anatomique(b), une pince type Dumont(c), une paire de ciseaux type Gilbert(d), un porte-aiguille type O'Brien(e), ciseau de Metzenbaum(f), un clamp type Gilbert (g), sonde de gavage à olive(h).
- Figure 21** : Autres matériels utilisés dans notre programme
- Figure 22** : Modèle synthétique : Micro-Montre
- Figure 23** : Cuisse de poulet qui représente le modèle biologique non vivant.
- Figure 24** : Préparation et anesthésie des rats par les participants.
- Figure 25** : Cuisse de poulet, préparée et disséquée.
- Figure 26** : Modèle biologique vivant représenté par le rat Wistar avec les abords des sites vasculaires : artère carotidienne et veine jugulaire externe ; aorte sous rénale ; vaisseaux fémoraux ; artère caudale.
- Figure 27** : Exposition du nerf sciatique par voie postérieure. a : biceps fémoral sectionné. b : muscle adducteur. c : tronc principal du sciatique. d : nerf péronier. e : nerf tibial. f : nerf sural.
- Figure 28** : Suture épi-périneurale du nerf sciatique.
- Figure 29** : Senior residents scored higher than junior residents on the COTEMI scale : Residents with more experience scored higher.
- Figure 30** : Les erreurs les plus souvent observés chez nos participants (1)
- Figure 31** : Les erreurs les plus souvent observés chez nos participants (2)
- Figure 32** : Les erreurs les plus souvent observés chez nos participants (3)
- Figure 33** : L'importance de la variété des programmes de formation en microchirurgie menant le participant à un certain niveau de compétences (jalons d'aptitudes et de compétences), et la nécessité d'un retour d'information à court et à long terme.

- Figure 34** : Modèle de konnyakushirataki:
- Figure 35** : microdissection et anastomose TT sur des vaisseaux de simulation synthétiques  
« PracticeRat »
- Figure 36** : Modèles de simulation à base de silicone pour la microchirurgie du nerf périphérique
- Figure 37** : suture terminoterminal sur modèle de cuisse de poulet.
- Figure 38** : modèles de cuisse de porc (Porcine ThighModels): (A) Dissection, (B) Comparaison de l'artère ulnaire humaine (pièce d'amputation) avec l'artère de la cuisse de porc, (C) Anastomose TT, (D) Anastomose TL, (E) Suture épipérineurale.
- Figure 39** : Technique d'Harashina : A : Animaux de diamètre très incongruents clampés B : Incision en bouche de poisson (flèche noire) sur l'extrémité incongruente de petite taille.
- Figure 40** : Résultats après microanastomose selon la technique d'Harashina
- Figure 41** : Démonstration de la canulation de l'artère fémorale gauche. Des colorants rouges et bleus sont utilisés pour la perfusion artérielle et veineuse respectivement. Le système artériel est perfusé à l'aide d'une pompe centrifuge.
- Figure 42** : Absorption par l'eau des longueurs d'onde 1,95 μm (diode) et 10,6 μm (CO<sub>2</sub>). Water absorption by 1.95- μm (diode) and 10.6- μm (CO<sub>2</sub>) wavelengths.
- Figure 43** : Microanastomose de carotide de rat réalisée par laser 1,95 μm après mise en place de deux microsutures de rapprochement (flèche jaune). Après lâchage des clamps, on n'observe aucun saignement.
- Figure 44** : Micro anastomose d'artère digitale réalisée par laser 1,95 μm après mise en place de deux microsutures de rapprochement, lors d'une replantation.
- Figure 45** : Vu la faible puissance nécessaire, le temps d'application réduit et le bon rendement énergétique du système diode, des recherches sont en cours pour obtenir un laser de poche de la taille d'un stylo.



# LISTE DES TABLEAUX





## LISTE DES TABLEAUX

- Tableau I** : Choix du diamètre du fils de suture en fonction du diamètre du vaisseau à anastomoser.
- Tableau II** : les critères de validation de la 1<sup>ere</sup> étape sur modèle synthétique.
- Tableau III** : Grille d'évaluation des compétences techniques en microchirurgie CoTeMi
- Tableau IV** : Répartition des résidents selon l'année de spécialisation :
- Tableau V** : Le temps moyen d'exécution d'un tour complet
- Tableau VI** : Résultats sur la qualité des noeuds:
- Tableau VII** : Résultats sur la régularité et la fluidité des mouvements:
- Tableau VIII** : Résultats sur le maniement des instruments:
- Tableau IX** : Le score final à la fin de la 3<sup>ème</sup> séance de la première étape d'apprentissage "MM":
- Tableau X** : Résultats de la deuxième étapes :temps entre le premier et le dernier point microanastomose de l'artère fémorale :
- Tableau XI** : Le score final obtenu par les opérateurs selon la grille d'évaluation COTEMI pour la deuxième et la troisième étape.
- Tableau XII** : Taux de réussite moyen dans notre programme:



# Plan



<b>INTRODUCTION</b>	<b>1</b>
<b>HISTOIRE DE LA MICROCHIRURGIE</b>	<b>3</b>
<b>RAPPEL</b>	<b>7</b>
<b>MATERIELS ET METHODES</b>	<b>31</b>
<b>RESULTATS</b>	<b>49</b>
I. Résultats de la première étape d'apprentissage sur modèle synthétique:	<b>50</b>
II. Résultats de la deuxième et troisième étape d'apprentissage sur les modèles biologiques:	<b>53</b>
III. Taux de réussite :	<b>55</b>
IV. Les erreurs les plus souvent observées :	<b>55</b>
<b>DISCUSSION</b>	<b>58</b>
I. Taux de réussite :	<b>59</b>
II. Facteurs influençant la progression du microchirurgien en formation :	<b>60</b>
III. Les différents modèles d'apprentissage :	<b>63</b>
a) Les modèles synthétiques :	
b) Modèles animaux :	
IV. Évolution des technologies et nouvelles orientations de la microanastomose par laser :	<b>70</b>
<b>CONCLUSION</b>	<b>76</b>
<b>RESUMES</b>	<b>78</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE</b>	<b>83</b>



# INTRODUCTION



La microchirurgie nécessite un degré élevé de dextérité et de compétences manuelles qui doivent être entièrement acquises en dehors du bloc opératoire. "A first experience has no place in the operating room."

Elle tend à devenir de plus en plus une compétence essentielle que tout chirurgien traumatolo-orthopédiste doit acquérir.

La fréquence des plaies de la main avec lésions vasculaires et nerveuses dans notre contexte représente un exemple parmi d'autres qui justifie l'importance et la place essentielle de la microchirurgie dans notre pratique courante. Par conséquent, la formation en microchirurgie est maintenant un élément essentiel du programme de formation des résidents de traumatologie-orthopédie.

En 1970, Jacobson et Suarez rapportaient les premières micro anastomoses vasculaires réalisées sur le chien à l'aide de fil de soie 7/0 (1) Depuis lors, la microchirurgie a considérablement évolué et celle-ci est devenue omniprésente en chirurgie traumatologique et orthopédique comme dans les autres spécialités chirurgicales. Son succès reste largement dépendant des micro-anastomoses vasculaires (2). Celles-ci sont le corollaire de la qualité des instruments d'optiques, de l'instrumentation utilisée, mais aussi des aptitudes du microchirurgien.

L'apprentissage de la microchirurgie sur des modèles inertes diffère sensiblement des situations cliniques, et l'utilisation de modèles animaux reste limitée par les règles éthiques, le coût croissant, et le temps nécessaire à l'anesthésie et au temps de préparation de l'animal.

Cependant, de nombreux supports pour l'apprentissage de la microchirurgie ont été développés afin de réduire le nombre d'animaux utilisés et les coûts de formation.

Notre programme pédagogique propose un apprentissage en trois étapes de base et d'approfondissement sur matériel non vivant, avant d'envisager le passage au matériel vivant. Cet apprentissage initial permettrait d'acquérir les compétences nécessaires sous microscope sur la gestuelle, la gestion du tremblement et de la magnification. Ensuite, un entraînement fréquent à domicile permettrait d'entretenir les compétences acquises.



# HISTOIRE DE LA MICROCHIRURGIE



La microchirurgie est souvent présentée comme une simple suite logique d'améliorations des techniques et de l'instrumentation.

Tout d'abord, c'est un Français, le Dr Alexis Carrel qui, en 1902, marque un premier tournant avec la description des anastomoses vasculaires termino-terminales par la méthode dite de la triangulation [3]. Dix ans plus tard, il recevra le prix Nobel pour ses travaux sur les sutures vasculaires [3-4-5]

En 1921 et grâce à un jeune assistant en otologie, Carl-Olof Nylen, le Pr Gunnar Hölmgren laisse entrer le premier microscope monoculaire au bloc opératoire [6].

Nylen, qui étudiait les os du crâne, et en particulier le rocher, au microscope, eut l'idée qui allait tout changer. Il modifiera un microscope monoculaire pour l'adapter au site opératoire [7]. Les deux hommes vont montrer comment le geste chirurgical peut être amélioré, car plus précis, à l'aide d'un instrument d'optique, ouvrant de fait la voie vers de nouvelles possibilités thérapeutiques [8]. Le concept de microchirurgie vient de naître et va s'étendre progressivement à d'autres spécialités.

En 1946 à Chicago, Richard Perritt introduit le microscope en ophtalmologie, contre l'avis de son chef de service. Après l'avoir utilisé, il affirma que cela « rend obsolètes tous les autres traitements de la cataracte » [9].

En 1957, Theodore Kurze réalise la première exérèse d'un neurinome du nerf facial chez un enfant de 5 ans à l'aide d'un microscope.

Trois ans plus tôt, Buncke avait passé 6 mois dans le service de Thomas Gibson en Écosse [10]. C'est là que les choses avaient changé, il y a appris à reconstruire le visage de patients défigurés pendant la seconde guerre mondiale au moyen de lambeaux tubulés « migrants » pendant des mois et des mois. . . Et un jour, Gibson lui dit « si seulement quelqu'un pouvait brancher ces vaisseaux, cela éviterait tous ces mois de traumatisme, de souffrance et de complications. . . » [10]. Ce fut la première étape, l'entendement les avait autorisés à l'apercevoir, et Buncke aura la volonté. . .

Lui qui avait commencé les tentatives d'anastomose en 1958 juste après être rentré d'Écosse venait de voir, dans la présentation de Jacobson, le dernier instrument qui lui manquait, le microscope. Buncke va retourner après ce congrès dans le garage de sa maison, entouré de sa famille, et d'une multitude de lapins. Ce n'est qu'en 1964 qu'il réussira enfin la première replantation d'oreille de lapin (vaisseaux estimés à 1 mm de diamètre) après plus d'une cinquantaine d'échecs [11].

C'est à force de perfectionnement du microscope, des instruments et des fils, et surtout de cette volonté unique que Buncke finira par réussir.

Si au début des années 1960 les premières réimplantation de bras (Malt et McKhann[12], 1962) et d'avant-bras [13] ont été possibles grâce aux progrès de la microchirurgie, il faudra attendre 1968 pour la première replantation de pouce par Komatsu et Tamaï[14], dans les suites des travaux expérimentaux réalisés par Buncke en 1965 [15] et réalise les premières autotransplantations tissulaires d'hallux pour remplacer le pouce chez les primates [16].

Ainsi, en 1969 Cobbett [17] répétera les travaux de Buncke chez l'Homme pour la première fois. Les microchirurgiens vont trouver des structures anatomiques à distance pour combler au mieux les pertes de substances.

L'anastomose microchirurgicale étant de plus en plus maîtrisée et reproductible, l'attention de ces chirurgiens va se déplacer vers le lambeau lui-même. McGregor et Jackson [18], avec le lambeau inguinal et le lambeau libre de fibula, avaient initié le mouvement au début des années 1970 [19].

En 1989, Hidalgo conçoit et sculpte le fibula pour donner l'illusion d'une mandibule [20]. Toute la créativité du chirurgien reconstructeur prend son sens dans ce type de reconstruction tridimensionnelle aux enjeux anatomiques, fonctionnels et esthétiques majeurs.

Les années 1990 marquent l'aboutissement des travaux sur la vascularisation cutanée, sur la maîtrise des lambeaux, sur l'épargne des tissus non indispensables et la quête de reconstructions sur mesure. C'est l'époque où l'imagination et la créativité des



chirurgiens reconstructeurs sont à leur paroxysme mais elle montrera aussi aux microchirurgiens leurs limites dans la reconstruction idéale qu'ils recherchent et ce sont deux régions anatomiques qui posent problème du fait de leur complexité : la main et la face.

L'allogreffe est la grande interrogation qui s'impose dans les années 1990. Il n'y a pas à imaginer la main, à faire preuve de « créativité » comme dans l'autogreffe, mais il y a à se poser d'autres questions. L'éthique est la base de la réflexion, mais le cœur du problème médical est immunologique, comme l'avait déjà montré l'allogreffe rénale depuis les années 1950 [21].

Le 23 septembre 1998 Jean-Michel Dubernard réalisa la première allogreffe de la partie distale de l'avant-bras et la main du membre droit d'un sujet jeune de 41 ans (Brain-Dead) vers un sujet de 48 ans victime d'une amputation traumatique[22].



## 1. ANATOMIE CHIRURGICALE ET MICROCHIRURGICALE DE L'ARTERE

### 1.1 Structure histologique des artères musculaires

Les artères suturées en microchirurgie sont des artères de type musculaire , avec un diamètre allant de 0,3 à 3mm. Les artérioles correspondent aux artères de calibre inférieur à 0,3mm. Leur rôle est de distribuer le sang aux différents territoires et d'adapter le débit aux besoins métaboliques de la région. Ces artères doivent donc pouvoir modifier leur calibre, ce qui se traduit par la présence dans la média d'un grand nombre de fibres musculaires lisses disposées de manière concentrique. Elles ont une paroi relativement épaisse par rapport au diamètre artériel. La paroi est composée de trois tuniques concentriques (figure1)

#### ➤ **Intima**

L'intima est composée d'un épithélium pavimenteux fragile composés de cellules endothéliales aplaties reposant sur une lame basale et un tissu conjonctif sous -endothé lial. Ce tissu sous -endothé lial peut être le siège de manifestations pathologiques : réactions inflammatoires, formation de dépôts lipidiques plus ou moins calcifiés.

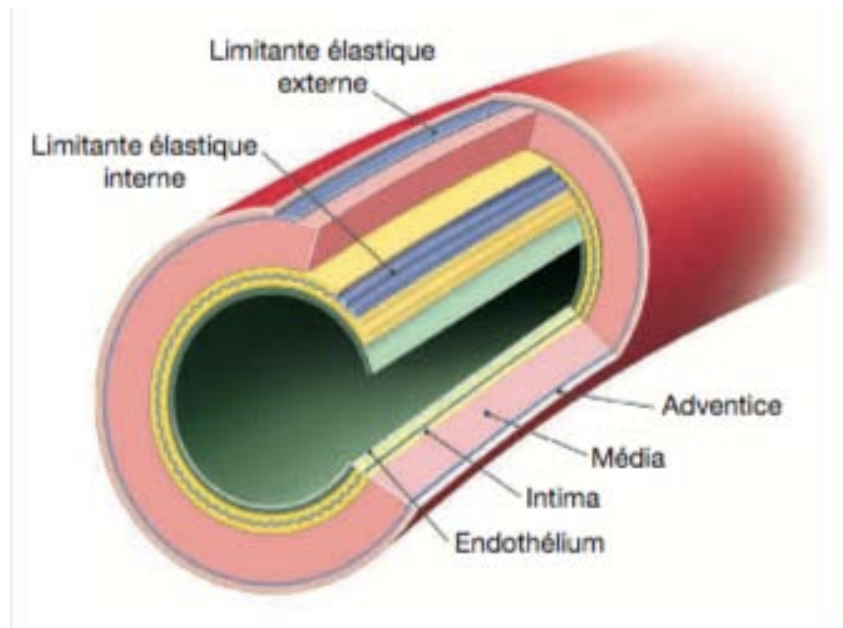
#### ➤ **Média**

La média est constituée de nombreuses couches concentriques de cellules musculaires lisses, à l'origine du spasme artériel lors de la suture . Elles sont encadrées par une lame limitante élastique interne, disposée autour de la lumière, et une limitante élastique externe séparant la média de l'adventice.

C'est la média qui confère la solidité au point de suture.

#### ➤ **Adventice**

L'adventice a une structure de base conjonctive, avec des fibres de collagène et des fibres élastiques.

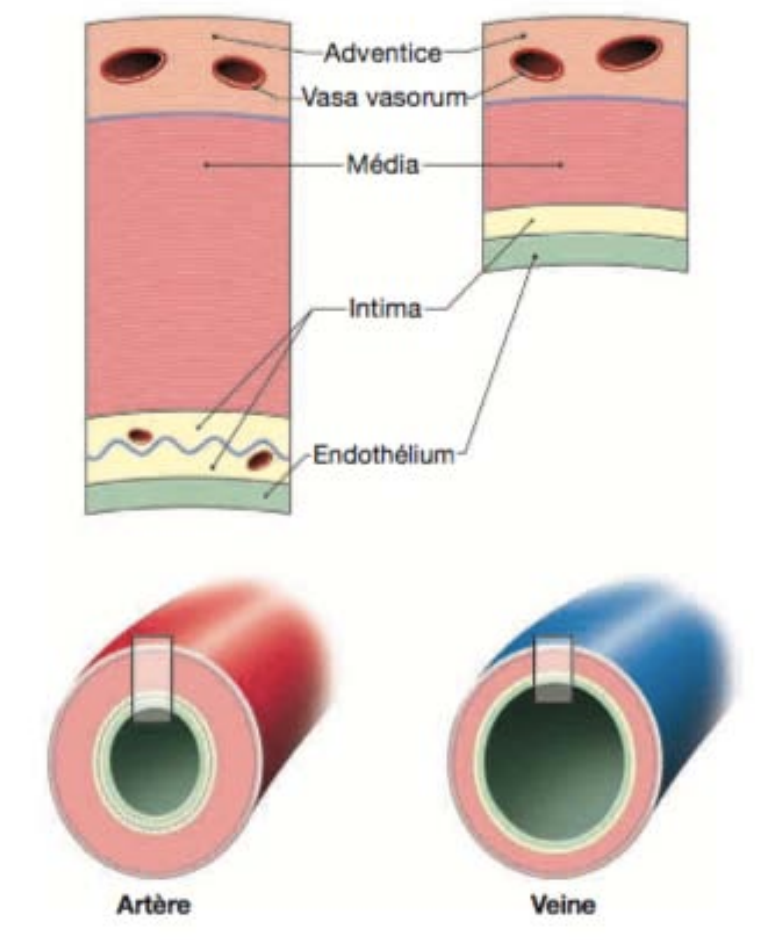


**Figure1 : Structure histologique d'une artère musculaire**

### **1.2 Structure histologique des veines**

Les veines sont composées des trois tuniques classiques : intima, média et adventice (figure 2). Leur lumière est large, la paroi est mince et déformable. La média est fine, constituée d'un mélange de fibres musculaires lisses, de fibres collagènes et de fibres élastiques.

Il est à noter que les veines intra-cardiaques se jetant dans le réseau veineux cave inférieur présentent des valvules. Elles sont composées d'un repli intimal, dont l'axe est orienté dans le sens du courant sanguin.



**Figure 2 : Comparaison de la structure histologique d'une artère et d'une veine**

### **1.3 Application clinique : principe chirurgical**

Le substratum histologique qui doit nous guider tout au long du geste microchirurgical est le respect de l'intima. En effet, toute lésion endothéliale entraîne une activation vasculo-plaquettaire et une agrégation des plaquettes ainsi que la formation d'un caillot de fibrine ou thrombus. Toutes les étapes de dissection, de préparation des vaisseaux et la réalisation des anastomoses doivent minimiser le traumatisme intimal. La manipulation des vaisseaux doit donc être la plus atraumatique possible.

#### **1.4 Description des différentes étapes d'une suture microvasculaire**

##### **Dissection : préparation des vaisseaux**

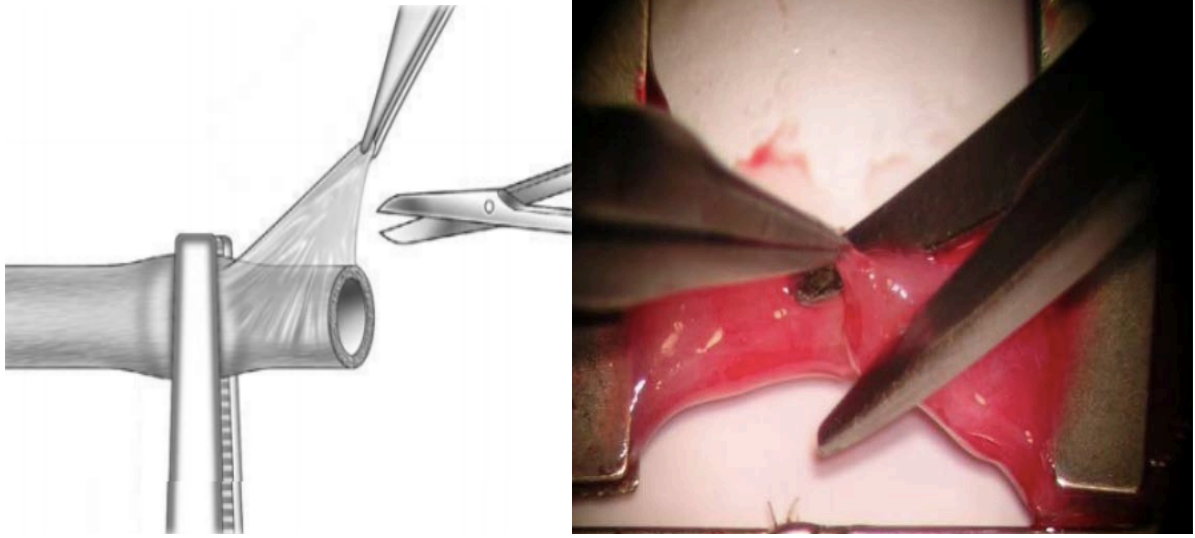
###### **➤ Abord des vaisseaux**

L'abord du pédicule doit se faire de la façon la plus délicate possible . Une hémostase rigoureuse est réalisée à la pince bipolaire douce en restant à distance des vaisseaux . Les branches collatérales sont clipées ou ligaturées . Si cette étape est menée trop rapidement, un hématome postopératoire pourrait comprimer le pédicule vasculaire . Il est à noter que l'onde thermique de la pince bipolaire peut diffuser jusqu'à 3mm du point de coagulation.

Les vaisseaux sont libérés sur quelques millimètres, en prenant soin de ne les mobiliser que par l'intermédiaire de l'adventice . Il est fortement déconseillé de pincer le vaisseau sur toute son épaisseur, ce geste pouvant entraîner des lésions intimes désastreuses. L'objectif de cette étape est de pouvoir retourner le vaisseau à 180° lors de l'anastomose si une technique de biangulation ou triangulation est choisie. La dissection s'étend donc uniquement sur quelques millimètres.

###### **➤ Préparation des extrémités vasculaires**

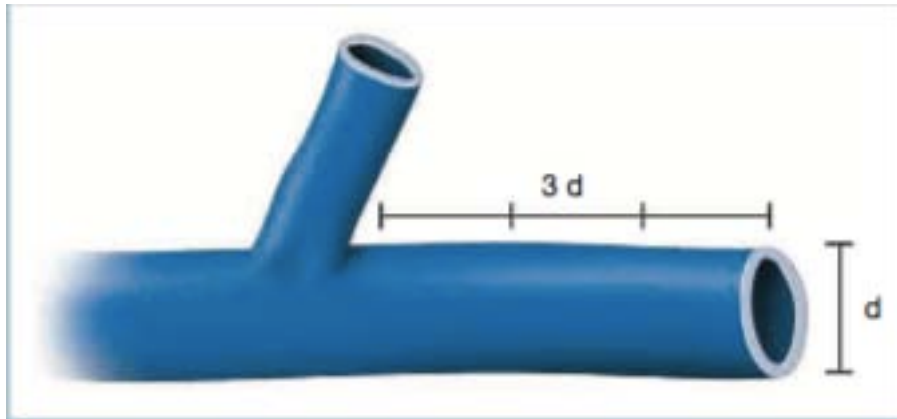
L'anastomose doit être réalisée en zone saine sur des vaisseaux macroscopiquement normaux. Une adventicectomie est réalisée. Elle permet un affrontement parfait des berges sans intrusion de l'adventice dans la lumière vasculaire, source de thrombose. (Figure 3)



**Figure 3 : Technique d'adventicectomie.**

Certains auteurs proposent d'introduire un cathéter dans la lumière du vaisseau et d'effectuer un lavage au sérum physiologique et /ou à l'héparine . Nous ne sommes pas favorables à la réalisation systématique de ce geste préliminaire à l'anastomose à cause des éventuelles lésions intimes secondaires à l'introduction du cathéter.

Lorsqu'une branche collatérale aura été clipée ou ligaturée à proximité de l'extrémité vasculaire, il est obligatoire de respecter au minimum une distance de trois fois le diamètre du vaisseau entre la naissance de la collatérale et la tranche de section, afin de limiter les turbulences



**Figure 4 : Distance à respecter entre une branche collatérale et l'anastomose. Une distance minimale correspondant à trois fois le diamètre du vaisseau receveur est conseillée entre l'anastomose et la naissance de la branche collatérale.**

➤ **Clamp**

Considérant que la mise en place de clamp représente une possible source de lésion intimale, un seul clamp simple en cas d'anastomose terminoterminal, ou double pour les anastomoses terminolatérales, est positionné au niveau du vaisseau receveur. Il est placé le plus à distance possible de la ligne de suture.

**1.5 Conditions générales de réalisation des anastomoses artérielles et veineuses**

La technique de suture microchirurgicale doit obéir à des règles strictes afin de minimiser le risque de thrombose. L'ensemble des points techniques décrits ci-dessous a pour objectif de réaliser une suture de qualité, indispensable au succès de l'intervention.

➤ **Suture sans tension ni torsion**

Les extrémités vasculaires sont positionnées en face l'une de l'autre. L'opérateur sera attentif à ne pas créer de torsion vasculaire, source de turbulence et donc de thrombose. La prise pariétale doit être identique en épaisseur et en distance par rapport au bord libre au niveau des deux vaisseaux. Le point charge uniquement l'intima et la média. Le nœud, simple ou double, doit être posé à plat. La suture doit être régulière et étanche, avec le moins de points possibles. Elle est réalisée sans tension sur les berges avec du fil 9-0, 10-0 ou 11-0 selon le diamètre et l'épaisseur de la paroi du vaisseau.

Un artifice technique intéressant permet un rapprochement des berges vasculaires pour une suture vasculaire sans tension. Nous positionnons deux points latéraux sur



l'adventice, à distance des extrémités . Ils permettent de rapprocher les extrémités des vaisseaux en tractant sur les structures avoisinantes.

➤ **Technique de flottement**

Les particularités histologiques de la paroi veineuse (mince, déformable, média de faible épaisseur , lame limitante élastique interne discontinue ) expliquent que la réalisation des sutures soit plus délicate . L'inondation du champ opératoire avec du sérum hé pariné permet de faire flotter l'extrémité veineuse, ouvrant ainsi la lumière.

➤ **Lutte contre le vasospasme**

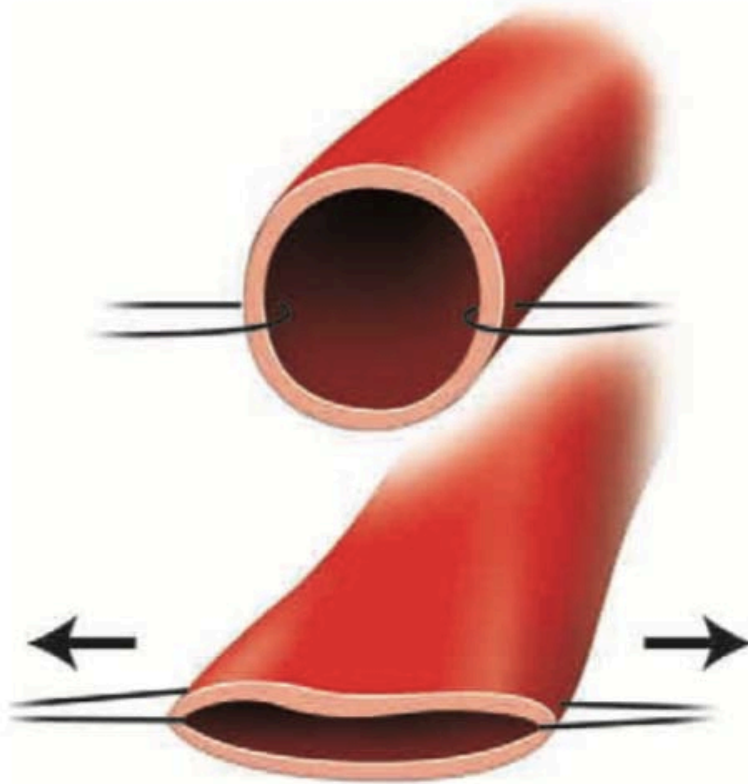
Lors de la réalisation des anastomoses , il est conseillé de réguler la température du bloc opératoire aux alentours de 22° C . Le patient est réchauffé pour maintenir une température corporelle à 37° C afin d'éviter de limiter le spasme vasculaire. L'instillation locale de xylocaïne de même que l'irrigation au sérum chaud peuvent être bénéfiques lors de la réalisation des sutures.

### 1.6 Types d'anastomose

#### ➤ **Anastomose terminoterminal (figure5)**

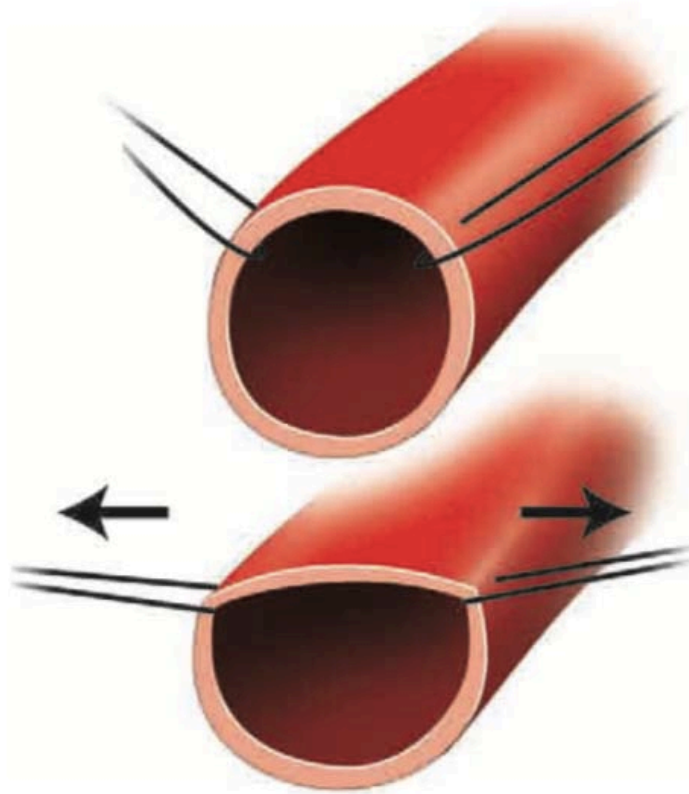
Trois techniques de suture terminoterminal sont décrites . Aucune n'a montré une supériorité par rapport aux autres . Le choix est donc laissé à l'opérateur et dépend de l'expérience technique de ce dernier, mais aussi des conditions locales d'exposition et d'orientation des vaisseaux.

-La technique de biangulation consiste à positionner deux points équatoriaux (soit à 3 h et 9 h), puis à effectuer un retournement à 180° permettant de suturer le plan postérieur, puis le plan antérieur [23].



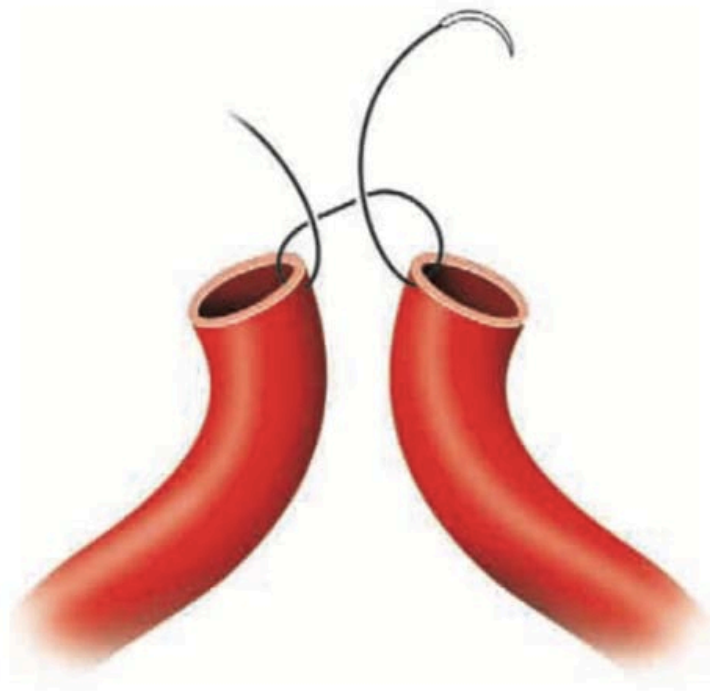
**Figure 5 : Technique de bi angulation Positionnement des deux premiers points à 3 h et à 9h.**

-Si une technique de triangulation est choisie , les deux premiers points sont positionnés à 2 h et 10 h, puis le plan antérieur est suturé. Le vaisseau est retourné à 180° et un troisième point clé est positionné à 6h, avant de terminer par la suture des deux plans postéromédial et postérolatéral (figure 6).



**Figure 6 : Technique de triangulation. Positionnement des deux premiers points à 2h et à 10h.**

-La suture de proche en proche est une technique plus difficile mais très intéressante car elle permet la réalisation d'une suture dans des conditions anatomiques parfois difficiles, notamment lorsque le pédicule est très court et n'autorise pas le retournement de l'anastomose à 180°. Le premier point réalisé est postérieur médian, positionné à 6 h. La suture est poursuivie de proche en proche de part et d'autre. Toute la difficulté réside dans le positionnement et l'espacement correct des points. Il faut prendre soin de respecter une distance équivalente entre deux points sur les deux berges. Si tel n'est pas le cas, du froncement des berges résultera une fuite et la création de turbulences source de thrombose (figure 7).



**Figure 7 : Suture de proche en proche. Premier point postérieur médian.**

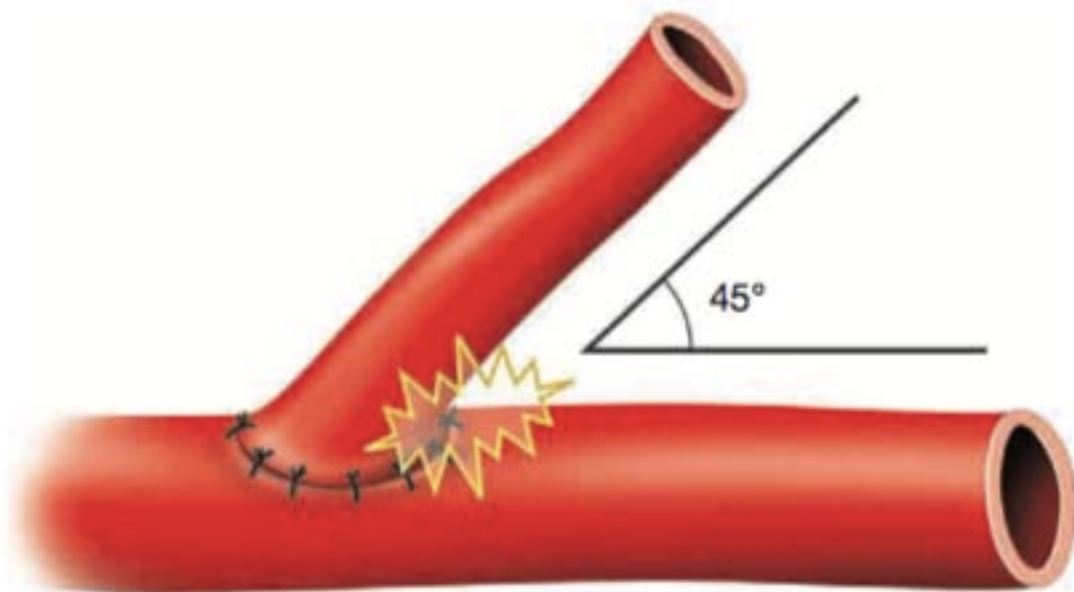
La suture d'une veine peut éventuellement être réalisée par hé misurjet, dès que son calibre est supérieur ou égal à 2,5 mm environ. Nous ne sommes cependant pas favorables à cette technique de suture car elle est nettement moins précise que des points séparés. Elle

n'offre pas toute la sécurité des points séparés, elle ne permet pas la réparation d'éventuels défauts techniques : froncement des berges, fuites, prise inégale de berges, etc.

➤ **Anastomose terminolatérale**

La réalisation d'une anastomose terminolatérale est réputée techniquement plus difficile. Nous commençons par positionner les deux points équatoriaux dans l'axe du vaisseau, puis les deux plans latéraux sont suturés successivement. Une attention toute particulière est portée au point situé dans l'angle aigu : c'est le plus souvent à cet endroit que se produiront les fuites.

Le pédicule du lambeau doit former idéalement un angle de  $45^\circ$  avec l'axe vasculaire receveur afin de minimiser les turbulences (figure 8).

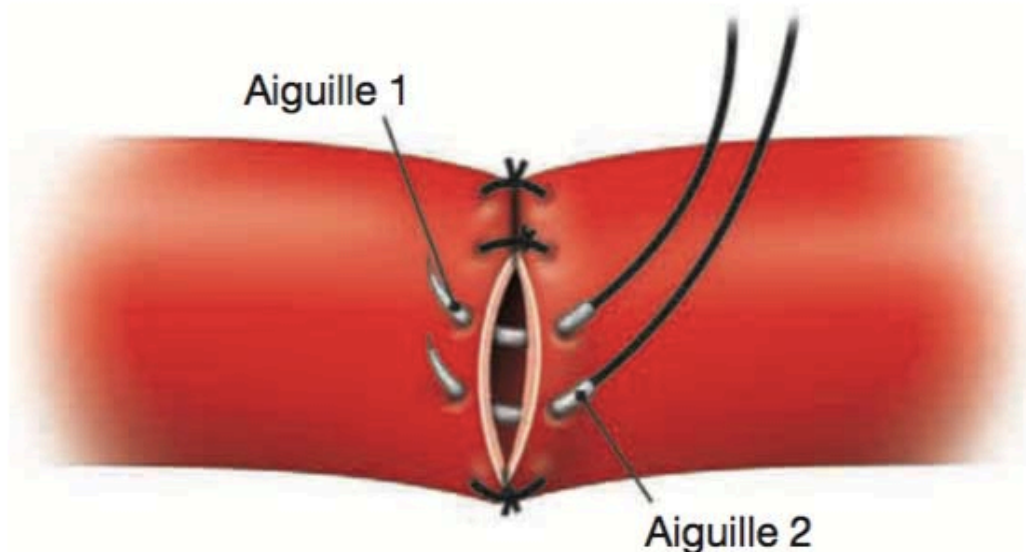


**Figure 8 : Anastomose terminolatérale. Respect d'un angle de  $45^\circ$ . Une attention toute particulière doit être portée au niveau des points situés dans l'angle aigu.**

➤ Notes techniques :

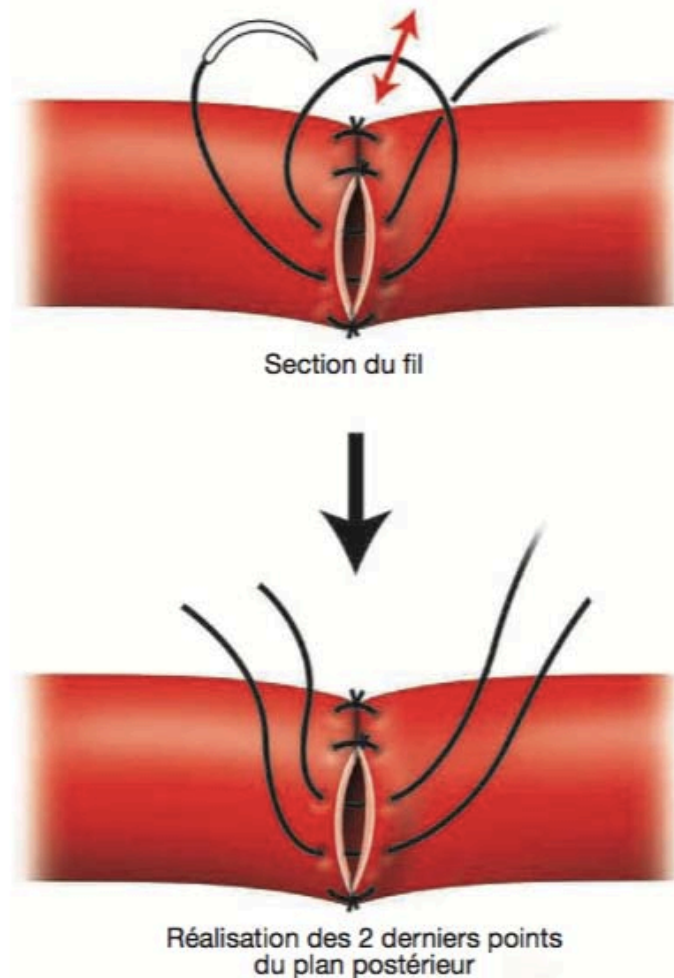
Quelques points techniques sont importants à noter.

- Lors de la réalisation de la suture , nous évitons au maximum de traumatiser l'intima en introduisant une pince à l'intérieur du vaisseau pour passer le point.
- Un artifice technique permet de sécuriser le passage du dernier point. Le passage de ce dernier point représente effectivement un temps dangereux car l'absence de contrôle visuel de la paroi postérieure nous expose à la réalisation d'un point transfixiant. Pour la réalisation de ces deux derniers points, deux fils sont utilisés. Une première aiguille charge les deux berges , mais sans passer le point . Elle est maintenue dans la ligne de suture qui reste donc ouverte . Le dernier point est passé, sous contrôle direct de la paroi postérieure, sécurisant ainsi le geste (figure 9).



**Figure 9 : Astuce technique : passage des deux derniers points. L'aiguille numéro 1 charge les deux berges et reste en place, laissant ouverte la ligne de suture. L'aiguille numéro 2 correspondant au dernier point est passée avec un contrôle direct de la paroi postérieure. Le fil numéro 2 est noué. Le fil numéro 1 est noué en toute sécurité**

- Si une technique de biangulation est choisie, les deux derniers points de suture du plan postérieur peuvent être réalisés à la manière d'un surjet, puis le fil est sectionné et les deux points sont posés. Cela évite une gestuelle supplémentaire de section des fils (figure 1.16).



**Figure 10 : Astuce technique : réalisation des deux derniers points du plan postérieur.**

## **2. ANATOMIE CHIRURGICALE ET MICROCHIRURGICALE DU NERF PÉRIPHÉRIQUE**

### **2.1 Unité élémentaire du nerf périphérique : la fibre nerveuse**

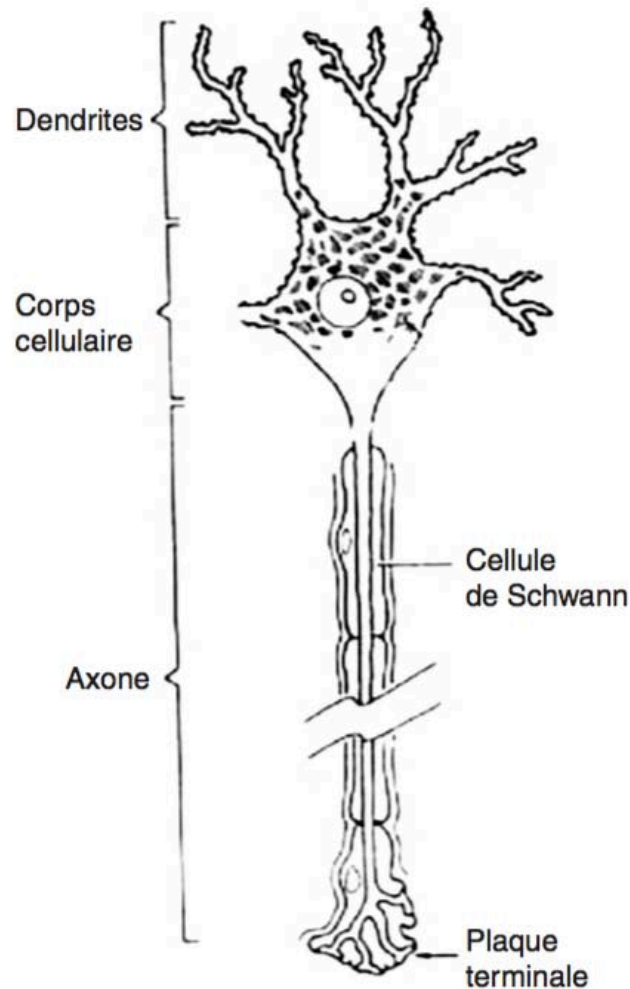
Une fibre nerveuse est un axone de neurone périphérique entouré d'une cellule satellite dite de Schwann.

Rappelons que le neurone (figure 11) est constitué d'un corps cellulaire entouré de dendrites réceptrices de stimuli. Du corps cellulaire part l'axone, prolongement cytoplasmique très long et très fin dont le rôle est de transporter les impulsions jusqu'à une arborisation terminale. Une bonne idée des proportions de ces éléments est donnée par Ducker [24] :

Si le corps cellulaire avait la taille d'un homme, son axone aurait un diamètre d'environ 5 cm et une longueur d'environ 4 km.

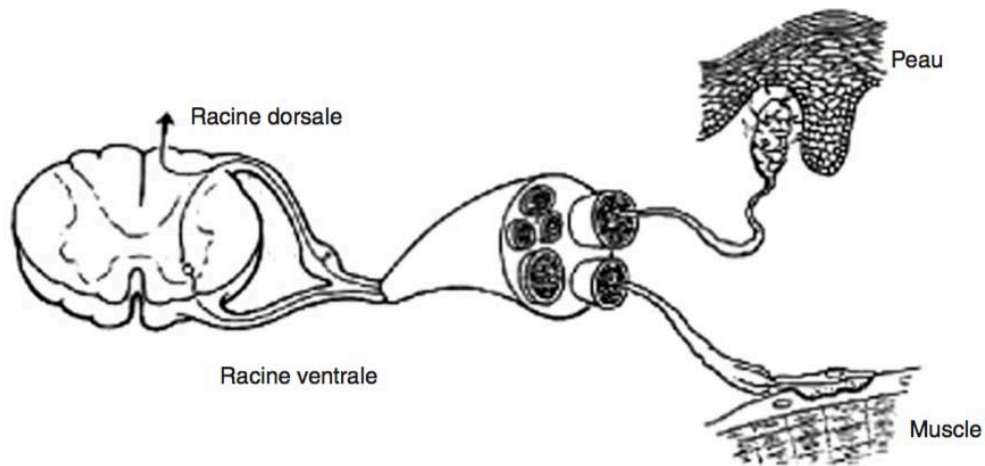
Malgré cette disproportion, les produits métaboliques élaborés par la cellule peuvent atteindre l'arborisation terminale et d'autres en revenir grâce à l'existence d'un flux axonal antéro et rétrograde. Cette fonction est indispensable, car la vie de l'axone, donc de la fibre nerveuse, dépend de l'intégrité du corps cellulaire avec lequel elle est en relation.





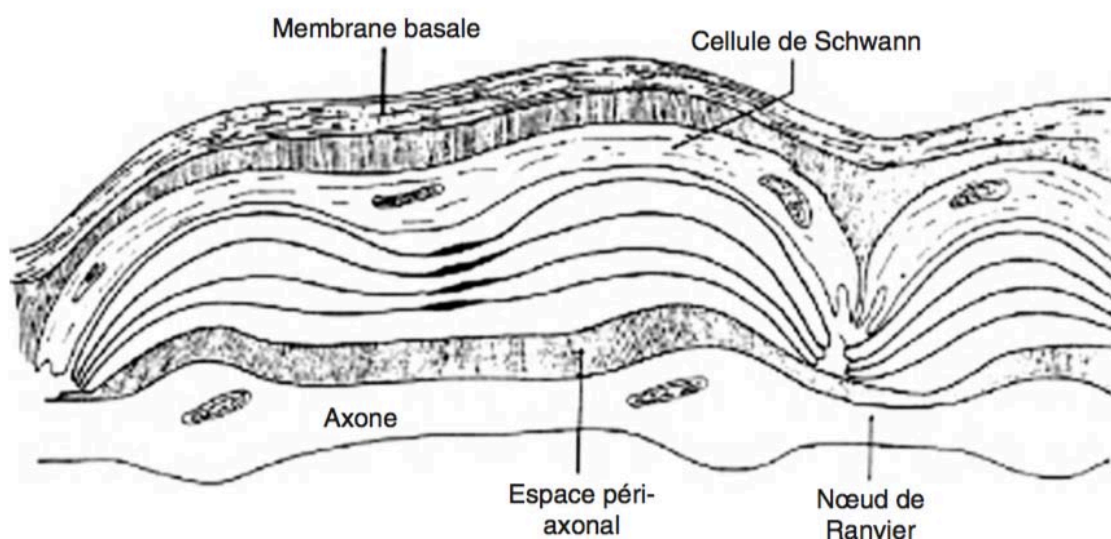
**Figure 11 : Structure générale du neurone périphérique**

Les neurones sont spécialisés. Ils sont moteurs, sensitifs ou végétatifs, et la situation de leur corps cellulaire ainsi que leur type d'arborisation terminale en dépendent. Un neurone aura son corps cellulaire situé dans la corne antérieure de la moelle s'il est moteur ou végétatif, dans le ganglion spinal de la racine dorsale du nerf périphérique s'il est sensitif (figure 12). Les neurones moteurs conduisent l'influx nerveux jusqu'à la jonction neuromusculaire afin de commander le mouvement. Les neurones sensitifs ramènent des informations depuis des récepteurs périphériques cutanés (sensibilité tactile et thermoalgésique), articulaires et musculaires (sensibilité profonde). Les neurones végétatifs, en étroite relation avec la chaîne sympathique laté rovertébrale où ils font relais, gèrent la pilomotricité, la vasomotricité et les sécrétions sudorales.



**Figure 12 : Connexions centrales et périphériques du nerf périphérique**

Tous les axones sont entourés de cellules satellites, appelées cellules de Schwann, d'origine neuro-épithéliale, qui leur constituent un support structural et métabolique. Le cytoplasme de l'axone bordé par une membrane ou axolemme est séparé de la cellule de Schwann par un espace péraxonale. La cellule de Schwann possède un noyau central, un cytoplasme dense et elle a un rôle de nutrition pour l'axone (Figure 13).



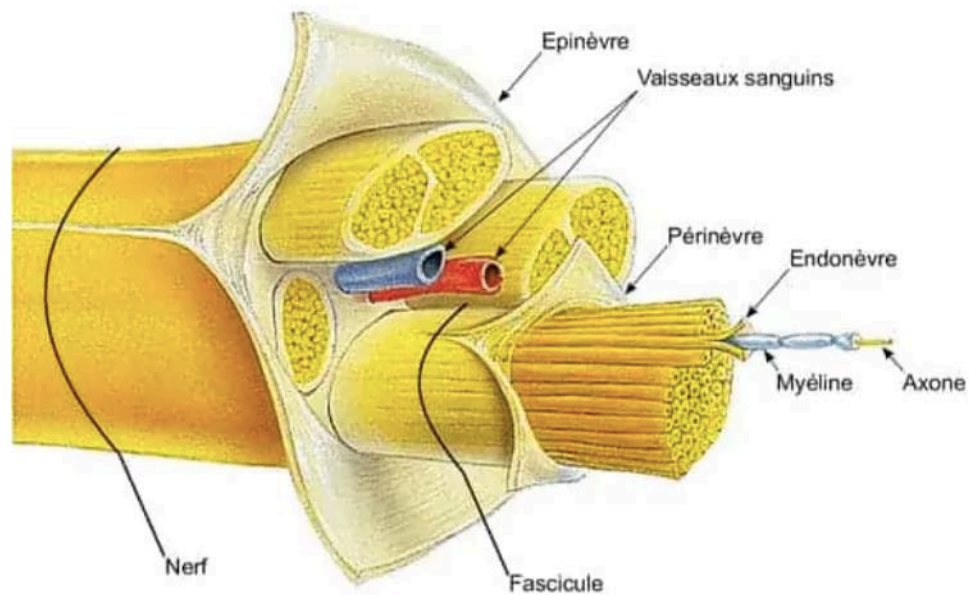
**Figure 13 : Aspect général des éléments péraxonaux**

Dans toute fibre nerveuse, la vitesse de conduction de l'influx est proportionnelle au diamètre de l'axone. À calibre égal, la myélinisation augmente de manière significative la rapidité de conduction. La conduction nerveuse est dite saltatoire, c'est-à-dire que l'influx

nerveux saute d'un nœud de Ranvier à l'autre . Le nombre de fibres nerveuses par nerf est très important : il est d'environ 30000 pour le nerf médian par exemple [25].

## 2.2 Unité chirurgicale du nerf : fascicules et groupes de fascicules

Les fibres nerveuses sont groupées en fascicules , véritables unités chirurgicales identifiables sous microscope . La coupe transversale d'un fascicule montre des amas de fibres nerveuses amyéliniques et myélinisées au sein d'un tissu conjonctif appelé endonèvre (figure 14). Le fascicule est limité par le périnèvre , gaine conjonctive fine, mais dense et résistante, qui y maintient une pression légèrement positive. Cela est très important pour comprendre les conséquences d'une section nerveuse totale ou partielle (telle qu'elle peut être réalisée dans les neurotisations du nerf du biceps par le nerf ulnaire par exemple ). En effet, la réalisation d'une fenêtre pé rineurale est suivie de l'apparition d'une véritable « hernie » de tissu nerveux. Le périnèvre joue un rôle mécanique de protection et , sur le plan physicochimique, se comporte comme un équivalent de barrière hématoencéphalique : il sépare le milieu endoneural en communication avec les espaces sous -arachnoïdiens et le tissu conjonctif ambiant. Il résiste bien à l'infection . Le périnèvre sert d'appui aux sutures pé rineurales et épipérineurales . Très souvent, les fascicules se réunissent en groupes de fascicules entourés par l'épinèvre , qui peuvent être suturés en bloc sous microscope si une bonne orientation est respectée . Le nombre de fascicules varie dans une large mesure selon le nerf considéré [25] : par exemple le nerf circonflexe comprend à son origine 7 à 10 fascicules et environ 6700 fibres nerveuses. Le nombre de fascicules du nerf radial dans sa portion brachiale varie, de haut en bas il décroît de 26 à 13 en moyenne.



**Figure 14 : Architecture du nerf périphérique**

L'ensemble du tissu conjonctif épineural, périneural et endoneural est important à considérer dans la mesure où il occupe plus de la moitié du tronc nerveux. Son importance augmente en regard des articulations, et sa répartition dans les différents segments est proportionnelle au nombre de fascicules. Par exemple, le nerf médian possède 63 % de tissu conjonctif pour 37 % de tissu neural. Ce fait est très important à considérer dans les greffes nerveuses : le nerf sural (saphène externe), très utilisé comme greffon, ne comporte que 29 % de tissu neural. Il est fondamental de réserver soigneusement l'épinèvre aux extrémités, pour réaliser des fagots dont la taille peut varier, mais dont la tranche de section doit comporter le moins possible de tissu conjonctif.

L'étude de l'organisation fasciculaire, dans le but de réaliser une cartographie de chaque nerf périphérique, a révélé de nombreuses variations, non seulement d'un sujet à l'autre, mais aussi d'un côté à l'autre chez le même sujet. [26]

### 2.3 Biomécanique des nerfs périphériques

Les nerfs périphériques sont des tissus particulièrement complexes qui non seulement conduisent des signaux électriques, mais communiquent chimiquement et électriquement avec d'autres nerfs, les muscles, des glandes et des récepteurs variés. Ils sont soumis selon les lieux de leur cheminement à des mouvements d'étirement, de torsion, de flexion-extension. Afin de permettre cette plasticité conformationnelle, les nerfs sont constitués d'un câblage sophistiqué fait de fibres nerveuses, rassemblées en fascicule entourés par différentes couches de tissu conjonctif. Ces éléments constitutifs des troncs nerveux sont attachés à la moelle épinière à leur émergence et présentent de nombreux points de ramification permettant aux fibres nerveuses de s'articuler avec différents organes cibles. Au cours de leur trajet, les troncs nerveux sont relativement libres et présentent de multiples surfaces de glissement, bien qu'il existe des points de fixation lâches comme l'ancrage des vaisseaux (vasa nervorum). [27, 28]. C'est un point très important, car en physiologie ces lieux d'alimentation vasculaire présentent une certaine souplesse en accord avec les mouvements des membres et du tronc. Cependant, le cheminement des troncs nerveux en regard des articulations est constitué de telle sorte qu'il persiste un changement de longueur des nerfs lors des mouvements. Lorsque la capacité des nerfs à s'étirer et à glisser librement est entravée par des adhérences aux tissus environnants, comme exemple après une réparation chirurgicale : fibrose intra-neurale secondaire à des traumatismes répétés, cela peut entraîner une augmentation de la tension exercée sur les nerfs, source de douleur entretenue par des phénomènes inflammatoires loco-régionaux

Les nerfs présentent une résistance considérable aux forces de traction qui peuvent lui être appliquées. De nombreuses études ont été menées afin de définir les limites à l'étirement avant que les troncs nerveux présentent des lésions structurelles, en particulier des vasa nervorum. Au cours de son étirement le rapport entre fibres nerveuses et tissu conjonctif évolue et change de conformité. Cependant, un étirement supérieur à la condition physiologique altère les propriétés de conduction des fibres nerveuses et le flux vasculaire intra-neural. Cela aboutit à une rupture de l'intégrité de la fibre nerveuse. L'élongation maximale d'un

nerf périphérique type (limite d'élasticité) est de 20 %. Un allongement supérieur à 20 % par rapport à la longueur initiale entraîne une diminution de la perfusion, entraînant une migration des macrophages / monocytes dans le milieu extravasculaire (margination) conduisant à une fibrose intra-neurale et extra-neurale. Cette fibrose a pour conséquence une baisse de la capacité d'étirement des nerfs. En cas d'un traumatisme par traction violente, les fibres axonales rompent avant les tubes d'endonèvre et la périnèvre.

Afin d'améliorer les résultats d'une réparation nerveuse, il est fondamental d'apprécier la résilience mécanique des nerfs. Lorsqu'un nerf suturé est étiré, le périnèvre se resserre, la pression endo-neurale augmente et le flux vasculaire diminue. Ce dernier peut s'interrompre totalement. Chez le rat et de manière expérimentale, un allongement de 8 % altère le flux veineux. Au-delà de 8 % et jusqu'à 15 %, le flux artériolaire diminue, et au-delà il s'interrompt. Lors d'agression nerveuse s'échelonnant sur un long terme, comme la prolifération tumorale d'un schwannome, il se constitue une néo-vascularisation collatérale évitant l'ischémie focalisée.

#### **2.4 CLASSIFICATION DES LÉSIONS NERVEUSES :**

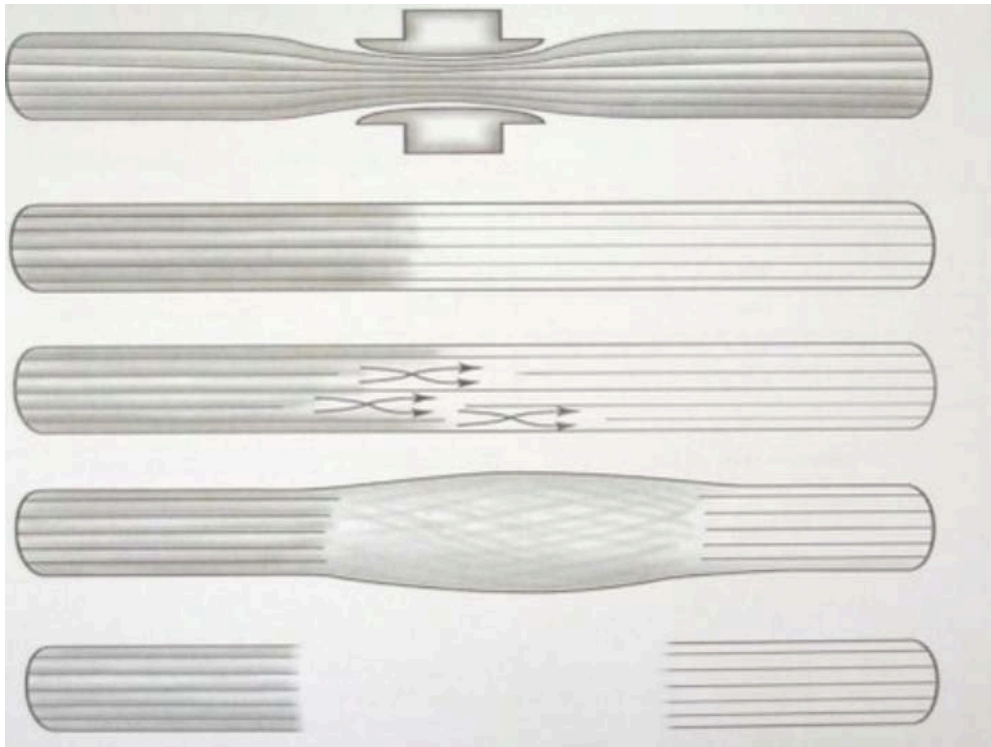
L'utilisation d'une classification des lésions nerveuses est essentielle pour la description, l'évaluation et pour la prise en charge des lésions nerveuses périphériques. Cette classification permet au chirurgien de distinguer les lésions nerveuses qui pourront récupérer sans intervention, de celles qui nécessitent une chirurgie.

On distingue cinq principaux types de lésion nerveuse :

- Le premier degré de lésion (neurapraxie) est un bloc de conduction localisé à un site précis sur le trajet du nerf. La récupération est complète et apparaît dans des délais variables, variant de quelques minutes à 12 semaines. Les exemples comprennent la paralysie due au garrot, la paralysie par compression localisée et le syndrome nerveux de compression au stade précoce.
- Le deuxième degré de lésion (axonotmésis) est caractérisé par un dommage axonal, avec dégénération wallérienne sur le segment distal. L'endonèvre et le périnèvre sont intacts. La régénération des axones va apparaître avec un signe de Tinel associé, pré-

sent au niveau de la lésion et avançant distalement avec le temps, en même temps que la régénération progresse à la vitesse de 1 mm par jour. La récupération est complète.

- Le troisième type de lésion avec atteinte cicatricielle de l'endonèvre représente le type lésionnel qui présente un degré de récupération le plus variable et le moins prédictible. La régénération va progresser à la vitesse classique, mais ne sera jamais totale et complète. La récupération sera variable en fonction de la quantité de tissu cicatriciel endoneural et du pourcentage de mauvaise orientation des fibres sensibles et/ou motrices.
- Dans le quatrième degré lésionnel, le nerf est continu mais il existe une cicatrice complète au niveau du site de la lésion. La dégénérescence wallérienne va se provoquer au niveau du segment distal par rapport au site de la lésion. Dans le même temps, la régénération des fibres nerveuses du segment proximal va être bloquée par la cicatrice lésionnelle. Le signe de Tinel sera présent au niveau de la lésion, mais ne progressera pas distalement. Aucune récupération fonctionnelle ne peut être observée sans intervention chirurgicale.
- Le cinquième degré (neurotmésis) est caractérisé par une section complète du nerf, aucune récupération ne peut être obtenue sans réparation chirurgicale.



**Figure 15 : Les différents types des lésions nerveuses**

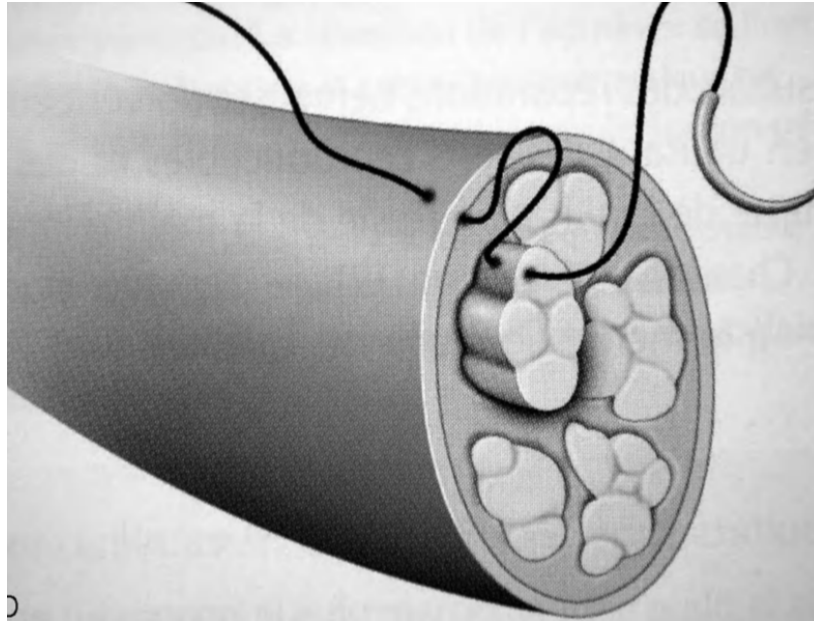
#### **2.5 PRINCIPES DU REPARATION CHIRURGICALE :**

Le traitement chirurgical est formellement indiqué dans les lésions de degré 4 et 5. Il s'agit de réaliser une suture nerveuse ou une greffe nerveuse. L'objectif commun est de restituer de la façon la plus précise possible l'anatomie du nerf.

Elle est indiquée dans les cas de section franche, nette, totale ou partielle sans perte de substance. Toutes les lésions associées, osseuses, tendineuses, vasculaires et cutanées doivent être réparées en urgence et il faut insister sur la réparation vasculaire, garant d'une trophicité satisfaisante. Le but de la suture est d'obtenir un alignement des différents groupes fasciculaires nerveux, afin de canaliser la repousse axonale vers les récepteurs. Les freins d'une repousse nerveuse de qualité, sont alors d'une part liés à la fibrose secondaire au site de la suture, et d'autre part en rapport avec la mauvaise orientation des fibres nerveuses. Actuellement, on utilise la suture épipérineurale avec colle biologique car elle permet un bon affrontement et évite les invaginations fasciculaires. Le fil utilisé est en général un monofilament synthétique non résorbable de diamètre 9/0 ou 10/0. La colle est un adhésif à



base de fibrinogène humain et de thrombine calcique d'origine bovine. Elle permet de diminuer le nombre de points de près de moitié (4 points, voire 6 points, pour un nerf médian au lieu de 8 à 10). Elle diminue aussi, et par ses propriétés propres, le risque de fibrose secondaire [29, 30].



**Figure 16 : Technique de suture épi-périneurale**



---

# MATERIELS ET METHODES

---



Nous rapportons dans notre travail une étude prospective réalisée sur les résidents en Traumatologie-orthopédie, qui consiste à évaluer un programme de formation en microchirurgie vasculaire et nerveuse en 3 étapes, dans le laboratoire de microchirurgie de la faculté de médecine et de pharmacie d'Agadir, sur une période de 10 demi journées(50h), encadré par le chef de service de Traumatologie-orthopédie du CHU Souss-Massa.

**Lieu de la formation:**



**Figure 17 : Laboratoire de microchirurgie de la faculté de médecine et de pharmacie d'Agadir**

## **I. Matériels**

### **1. Matériels spécifiques :**

Le matériel comprend un microscope opératoire, différents fils de suture ainsi que les instruments spécifiques de la microchirurgie.

#### **1.1 Microscope opératoire :**

Le microscope opératoire permet de voir une image stéréoscopique agrandie grâce au grossissement qui peut aller jusqu'à quarante fois. Sa source lumineuse offre une luminosité variable. L'angle entre les oculaires et le corps est de 45°. La distance focale se situe à 200 millimètre ou à 250 millimètre. Un réglage des oculaires du microscope se fait d'abord en position "zéro" suivie d'une mise au point grossière pour le placement sur la zone .

L'opérateur règle alors l'écartement inter-pupillaire. La mise au point est vérifiée en diminuant le grossissement, puis affinée grâce à la molette présente sur le côté du microscope. Le chirurgien procède ensuite à la mise au point fine d'un œil puis du second. Si nécessaire les dioptries de l'oculaire sont modifiées.



**Figure 18 : Système de vision : ZEISS Microscope laboratoire de microchirurgie FMPA.**

### 1.2 Fils de sutures :

Il existe plusieurs sortes de fils, fins, monobrins, sertis d'une ou de deux aiguilles de diamètres différents. Ils peuvent être résorbables ou non. Les fils résorbables sont utilisés en urologie et en ophtalmologie. Ceux non résorbables servent aux sutures vasculaires ou nerveuses. Le diamètre du fil est choisi en fonction de celui du vaisseau à anastomoser (tableau 1).

**Tableau I. Choix du diamètre du fil de suture en fonction du diamètre du vaisseau à anastomoser.**

Diamètre du vaisseau	Référence du fil	Diamètre du fil	Diamètre de l'aiguille
Supérieur à 1,5 mm	9/0	35 $\mu$	100 $\mu$
Entre 1 et 1,5 mm	10/0	17 $\mu$	70 $\mu$
Inférieur à 1 mm	11/0	14 $\mu$	50 $\mu$



**Figure 19 : Fils de sutures**

On utilise habituellement des fils monobrins , non ré sorbables, de calibre 9-0, 10-0 ou 11-0 munis d'aiguilles à corps rond et d'une courbure de 3/8e de cercle. Les aiguilles à extrémité spatulée utilisées en ophtalmologie sont à proscrire pour la microchirurgie vasculaire et nerveuse.

### **1.3 Instruments de la microchirurgie :**

Notre boîte de base d'instruments de microchirurgie comprend (figure20) :

- Une pince fine n°5 (type Dumont), fine servant pour les anastomoses
- Une pince n°3 (type Dumont), plus épaisse utilisée pour la dissection des vaisseaux
- Une paire de micro-ciseaux courbe à bouts mousses (type Gilbert)
- Un porte-aiguille (type O'Brien) qui épouse parfaitement la courbure de l'aiguille

- Un clamp double à mors mobiles et à pression variable (type Gilbert) qui nécessite un apprentissage pour apprécier la qualité du serrage
- Un clamp simple ou double (type Ikuta).
- Tapis à picots siliconé, 18 x 8,5 x 3 cm
- Sonde de gavage à olive, en acier inoxydable courbé 1.2 x 40 mm, réutilisable et stérilisable autoclave.
- Pince anatomique
- 1 paire de ciseaux type Metzenbaum court

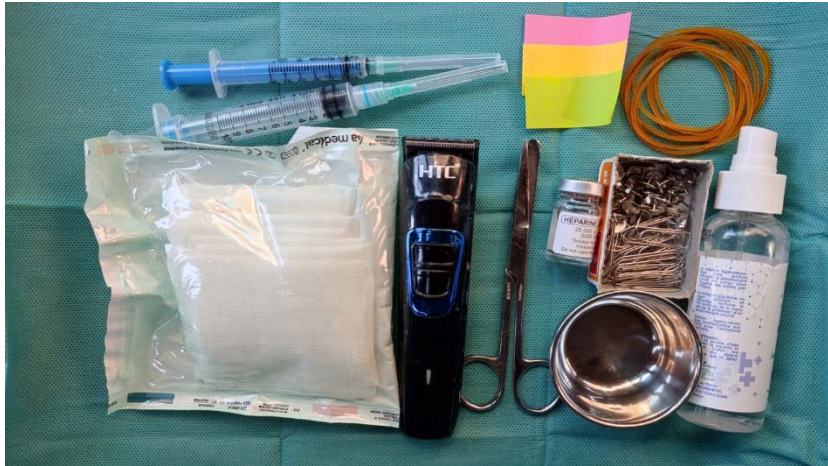


**Figure 20 : boîte des instruments de microchirurgie de la FMFA : un porte-lame(a), pince anatomique(b), une pince type Dumont(c), une paire de ciseaux type Gilbert(d), un porte-aiguille type O 'Brien(e), ciseau de Metzenbaum(f), un clamp type Gilbert (g), sonde de gavage à olive(h).**

## **2. Autres matériels (figure21) :**

- Fonds de couleur (bleu / jaune)
- Les Trombones (écarteurs)
- Les élastiques
- Les punaises

- Sparadrap
- Tendeuse électrique
- Seringues 5ml + aiguilles lacrymales
- Cupules et sérum physiologique
- Sérum hépariné
- Désinfectant (alcool 70°) et compresse stérile.



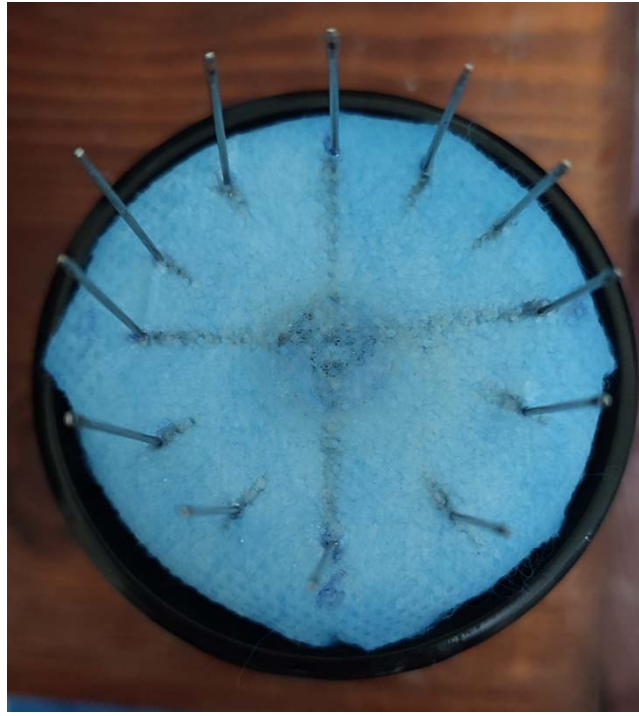
**Figure 21 : Autres matériels utilisés dans notre programme**

### **3. Les modèles d'apprentissage :**

#### **3.1 Modèle synthétique : (figure22)**

Le modèle synthétique d'entraînement à la microchirurgie a été assemblé à l'aide d'un tampon nettoyant et de 12 aiguilles à coudre ordinaires placées en forme d'horloge de 12 heures dont le diamètre est de 3,5 cm. Ce diamètre permettait de visualiser clairement tous les chas (needle-eyes) de l'aiguille au microscope. Le périmètre de l'horloge est de 11 cm, soit une distance de 9mm entre chaque deux aiguilles successives.



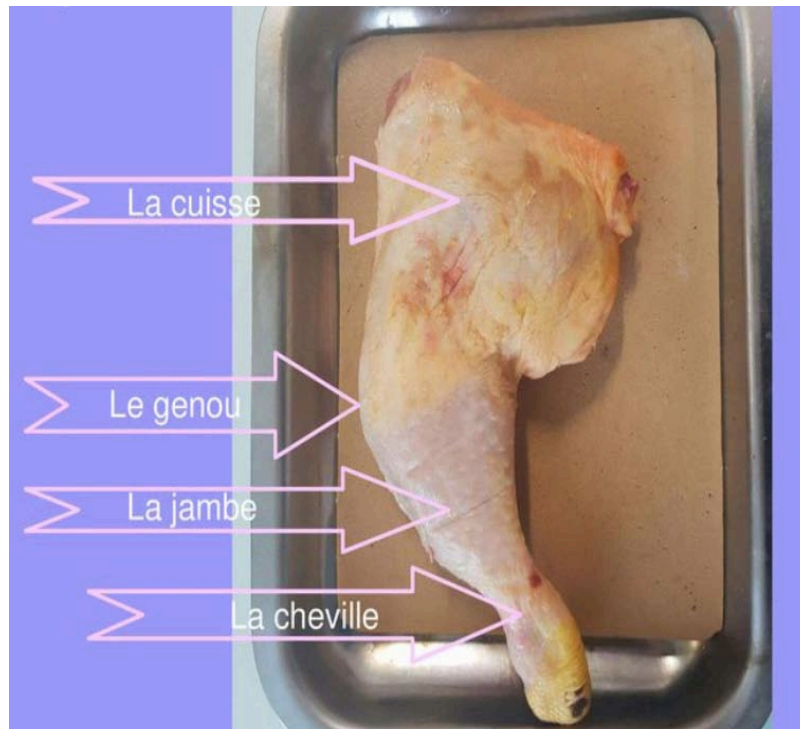


**Figure 22 : Modèle synthétique : Micro-Montre.**

**3.2 Modèle biologique non vivant : (figure23)**

Le modèle biologique non vivant a été constitué par la cuisse de poulet. On y voit la cuisse, le genou, la jambe et la cheville avec leurs constituants osseux, musculaires, vasculaires et nerveux.

Ce modèle permet un apprentissage sur un milieu proche des tissus humains et une répétition des gestes à faible coût.



**Figure 23 : Cuisse de poulet qui représente le modèle biologique non vivant.**

### **3.3 Modèle biologique vivant : (figure24)**

Nous avons utilisé des rats Wistar âgés de 5 à 8 semaines. La série comprenait 6 mâles et 4 femelles. Le poids moyen des animaux était de 300 grammes (280 à 380). Les rats ont été anesthésiés par injection intra-péritonéale de 0,7 mL d'un mélange de kétamine (10 mL à 50 mg/mL) et de chlorpromazine (1,5 mL à 5 mg/mL). La peau de la région inguinale était rasée et désinfectée à l'alcool à 70°.



**Figure 24 : Préparation et anesthésie des rats par les participants.**

## **II. Méthodes**

Notre étude intéresse dix résidents en traumatologie-orthopédie qui disposent de cinq microscopes opératoires, de dix boîtes d'instruments chirurgicaux et des modèles d'apprentissage précités. Les travaux pratiques sont encadrés par l'enseignant qui aide directement le médecin résident sur le champ opératoire.

### **1. Installation de l'opérateur :**

La position du résident doit être ergonomique pour maîtriser sa gestuelle. Pour ce :

- Il faut prendre le temps de bien s'installer
- Dos et cou droit
- Tabouret avec support lombaire
- Ajuster la hauteur de tabouret
- Les bords ulnaires des poignets posés sur le champs

### **2. Les étapes d'apprentissage :**

L'apprentissage se fait graduellement en trois étapes comme suit :

#### **2.1 STEP1 : Entraînement sur modèle synthétique : Micro-Montre :**

Les trois premières séances de travaux pratiques sont réalisées avec un substitut "Micro-Montre" permettant l'entraînement et la dextérité à la manipulation des instruments. Un test de performance est réalisé sur le substitut à la fin de la troisième séance de travaux pratiques.

Le résident doit introduire le fil dans le chas des aiguilles, en premier temps suivant le sens des aiguilles d'une montre, et en deuxième temps suivant le contre sens des aiguilles d'une montre. Ceci sans dépasser un temps maximal de 90 secondes (1 minute et demi) pour chaque temps. La durée du test est chronométrée par l'enseignant.

En troisième temps, le résident doit effectuer un nœud entre chaque deux aiguilles successives réalisant un nombre total de 6 nœuds.

Pour évaluer la première étape d'apprentissage, nous avons créé une grille de notation en se basant sur quatre critères notés sur 4, soit une note totale sur 16 (Tableau 2).

Une note supérieure à 10 permettait aux résidents de valider la première étape et de passer aux étapes d'apprentissage suivantes.

**Tableau II : les critères de validation de la 1ere étape sur modèle synthétique.**

Notation Critères	0	1	2	3	4
Temps d'exécution d'un tour complet sens horaire	>150s	130-150s	110-130s	90-110s	<90s
Temps d'exécution d'un tour complet antihoraire	>150s	130-150s	110-130s	90-110s	<90s
Qualité des nœuds	Mauvais	Passable	Moyen	Bien	Très bien
Régularité/fluidité des mouvements	Mauvais	Passable	Moyen	Bien	Très bien
Maniement des instruments	Mauvais	Passable	Moyen	Bien	Très bien

### **2.2 STEP 2: Entraînement sur modèle biologique non vivant:**

Sur ce modèle, le résident, après avoir installé, repéré et disséqué, doit s'entraîner à effectuer la suture vasculaire termino-terminale de l'artère fémorale en premier temps et la suture nerveuse épi-perineurale du nerf sciatique en deuxième temps. Tout résident ayant validé cette étape passe à l'étape du monde réel.



**Figure 25 : Cuisse de poulet, préparée et disséquée.**

### **2.3 Entraînement sur modèle biologique vivant:**

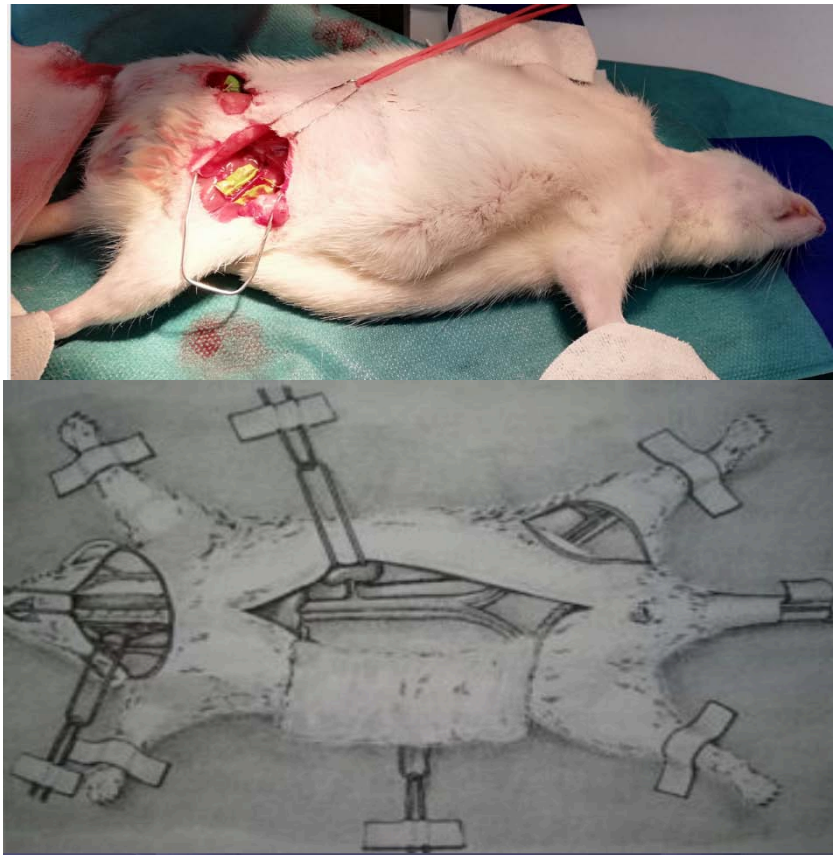
Au cours de cette étude prospective, nous avons suivi rigoureusement et simultanément le même protocole d'installation et de préparation du rat et la même technique microchirurgicale pour la réalisation des anastomoses vasculaire de l'artère fémorale droite puis gauche et de la suture nerveuse épi-péri-neurale sur le nerf sciatique droit puis gauche. La répétition des mêmes gestes et des mêmes techniques lors des interventions successives a permis de gagner en rapidité et en efficacité.

#### **▪ Technique opératoire :**

##### **a. Installation et protection du rat : figure26 :**

Après anesthésie générale, rasage et désinfection de la région inguinale, l'animal était installé en décubitus dorsal sur un plan dur, fixé par des punaises, élastiques et sparadraps, tête placée à gauche de l'opérateur.

- Réchauffer l'animal en plaçant la lampe ni trop près ni trop loin.
- Surveiller la respiration et ne pas trop l'écarteler lors de l'installation.
- Surveiller la profondeur de l'anesthésie.
- Réaliser une dissection chirurgicale soigneuse avec une exposition de qualité en utilisant les trombones et le sparadrap.
- Surveillance et limitation du saignement



**Figure 26 : Modèle biologique vivant représenté par le rat Wistar avec les abords des sites vasculaires : artère carotidienne et veine jugulaire externe ; aorte sous rénale ; vaisseaux fémoraux ; artère caudale.**

**b. Anastomose artérielle :**

Avant de débiter les sutures, il était essentiel de mettre en place un fond de couleur contrastant et de réaliser une adventicectomie étendue des zones d'anastomose ainsi qu'un lavage de la lumière artérielle par du sérum hépariné pour faciliter la suture et éviter la présence d'un flap adventiciel dans la lumière, qui aurait pu être source de thrombose.

Les anastomoses termino-terminales sur l'artère fémorale étaient réalisées simultanément selon la technique de la bi-angulation symétrique à l'aide de 8 points de fil 10/0 par anastomose. Pour ce faire, on a limité au maximum la manipulation de l'endothélium afin de ne pas augmenter le risque de dissection du vaisseau.

En fin de procédure, le vaisseau était déclampé une compresse humide était appliquée pendant 3 minutes sur notre suture afin de faciliter l'hémostase et de réduire les pertes sanguines. Enfin, le test de perméabilité était réalisé, par étude du flux antérograde, pour juger

de l'efficacité de la procédure : on clampait le vaisseau en aval de l'anastomose avec une pince, puis on faisait le vide sur quelques millimètres au moyen d'une deuxième pince. Ensuite, on retirait la première pince.

Quatre situations pouvaient alors se produire :

- Le test de perméabilité montre un borflux sanguin de part et d'autre de la suture vasculaire. C'est ce qui correspond à la « réussite » Patency test positif
- Le test de perméabilité ne retrouve pas de flux, en raison de la formation précoce d'un thrombus. Cela constitue un « échec » ;
- Le test de perméabilité est initialement positif mais devient négatif lorsqu'il est répété à 5 minutes. Cela correspond à une perméabilité « transitoire ». Les perméabilités transitoires ont été considérées en définitive comme des échecs.
- Le test de perméabilité ne retrouve pas de flux, en raison d'une suture transfixiante étranglant l'artère. Cela constitue un échec.

c. Suture nerveuse : (figure28)

Installation du rat :

Pour la suture nerveuse, le rat est installé en décubitus ventral, fixé et écartelé à l'aide des punaises, des élastiques et de sparadraps.

Exposition du nerf sciatique :

Une incision verticale est réalisée au niveau de la région fessière du rat suivie d'une dissection des plans musculaires avant le repérage du nerf.

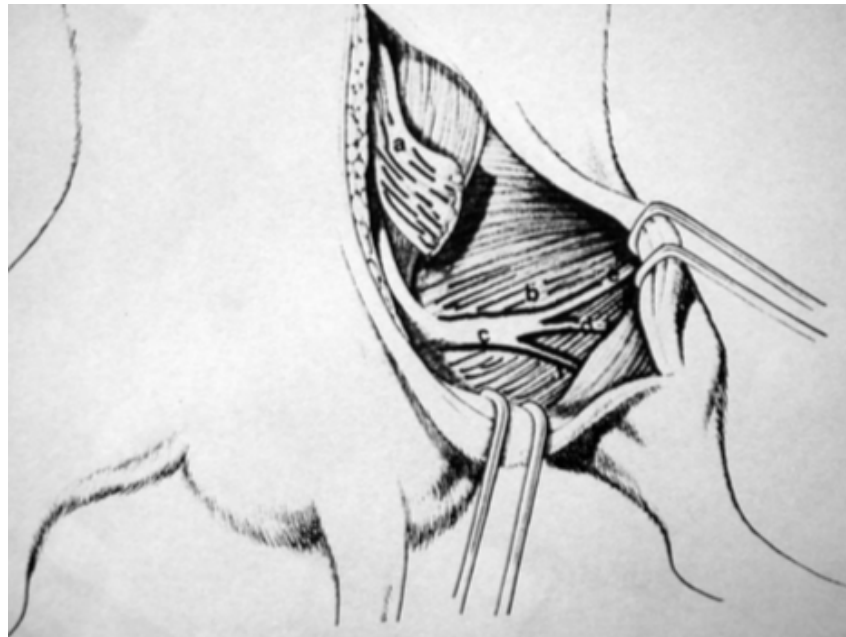
Section :

Nette et perpendiculaire au sens des fibres nerveuses

Suture épi-péri-neurale

On effectue 3 à 6 points à nœuds plats avec un bon affrontement fasciculaire





**Figure 27 : Exposition du nerf sciatique par voie postérieure a : biceps fémoral sectionné b : muscle adducteur. c : tronc principal du sciatique. d : nerf péronier. e : nerf tibial. f : nerf sural.**



**Figure 28 : Suture épi-périneurale du nerf sciatique.**

#### 2.4 Évaluation des Acquisitions : (tableau 3)

La grille d'évaluation des compétences techniques en microchirurgie (CoTeMi) est basée sur les éléments suivants:

1. Réglage du microscope: noté sur 3 et évalue la maîtrise du centrage, de la mise au point, de la hauteur, du confort de l'assise et la posture de l'opérateur.
2. La dextérité: évalue la stabilité de l'installation de l'opérateur, la manipulation des instruments et des aiguilles, chaque paramètre étant noté sur 3, soit un total de 9
3. Préparation des vaisseaux: évalue la qualité de l'adventicectomie, et l'emplacement optimal du clamp avec une note de 3 pour chaque paramètre soit un total de 9.
4. Anastomose vasculaire: est évaluée par les paramètres suivants: la manipulation des vaisseaux, la qualité des sutures, l'emplacement des noeuds et la qualité d'irrigation du vaisseau suture. Chaque paramètre est noté sur 3, soit un total de 12.
5. La fluidité du geste est notée sur 3 et est évaluée par la Vitesse et la présence ou non de mouvements inutiles.
6. Analyse de la perméabilité: est notée sur 15 et est évaluée par le contrôle de l'anastomose avant la levée du champ qui est noté sur 3, par le patency test qui est noté sur 3, et par la perméabilité de l'anastomose après 1 minute qui est notée sur 9.

**Tableau III : Grille d'évaluation des compétences techniques en microchirurgie CoTeMi**

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	Domages 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



# RESULTATS



**Tableau IV : Répartition des résidents selon l'année de spécialisation :**

Année de spécialisation	5ème année	4ème année	3ème année	2ème année	1ère année
Nombre de résident	0	1	4	2	3

**I. Résultats de la première étape d'apprentissage sur modèle synthétique:**

**Tableau V : Le temps moyen d'exécution d'un tour complet**

Temps d'exécution d'un tour complet	Année de spécialisation	1ère séance	2ème séance	3ème séance
Résident n°1	4ème année	110 s	97 s	85 s
Résident n°2	3 èmeannée	160 s	140 s	125 s
Résident n°3	3ème année	122s	92s	89s
Résident n°4	3ème année	150s	140s	110s
Résident n°5	3ème année	100s	110s	70s
Résident n°6	2ème année	125s	115s	92s
Résident n°7	2ème année	130s	105s	82s
Résident n°8	1ère année	170s	155s	125s
Résident n°9	1ère année	120s	130s	96s
Résident n°10	1ère année	180s	151s	130s

**Tableau VI : Résultats sur la qualité des noeuds:**

Qualité des noeuds	Année de spécialisation	1ère séance	2ème séance	3ème séance
Résident n°1	4ème année	Moyen	Bien	Bien
Résident n°2	3 èmeannée	Passable	Moyen	Bien
Résident n°3	3ème année	Moyen	Passable	Passable
Résident n°4	3ème année	Passable	Moyen	Bien
Résident n°5	3ème année	Moyen	Bien	Tres bien
Résident n°6	2ème année	Passable	Bien	Bien
Résident n°7	2ème année	Moyen	Moyen	Bien
Résident n°8	1ère année	Mauvais	Passable	Moyen
Résident n°9	1ère année	Passable	Moyen	Bien
Résident n°10	1ère année	Mauvais	Passable	Passable

**Tableau VII : Résultats sur la régularité et la fluidité des mouvements:**

Regularité /fluidité des mouvements	Année de spécialisation	1ère séance	2ème séance	3ème séance
Résident n°1	4ème année	Moyen	Bien	Bien
Résident n°2	3 èmeannée	Passable	Moyen	Bien
Résident n°3	3ème année	Moyen	Passable	Passable
Résident n°4	3ème année	Passable	Moyen	Bien
Résident n°5	3ème année	Moyen	Bien	Tres bien
Résident n°6	2ème année	Passable	Bien	Bien
Résident n°7	2ème année	Moyen	Moyen	Bien
Résident n°8	1ère année	Mauvais	Passable	Moyen
Résident n°9	1ère année	Passable	Moyen	Bien
Résident n°10	1ère année	Mauvais	Passable	Passable

**Tableau VIII : Résultats sur le maniement des instruments:**

Maniement des instruments	Année de spécialisation	1ère séance	2ème séance	3ème séance
Résident n°1	4ème année	Moyen	Bien	Bien
Résident n°2	3 èmeannée	Passable	Moyen	Bien
Résident n°3	3ème année	Moyen	Passable	Passable
Résident n°4	3ème année	Passable	Moyen	Bien
Résident n°5	3ème année	Moyen	Bien	Tres bien
Résident n°6	2ème année	Passable	Bien	Bien
Résident n°7	2ème année	Moyen	Moyen	Bien
Résident n°8	1ère année	Mauvais	Passable	Moyen
Résident n°9	1ère année	Mauvais	Passable	Moyen
Résident n°10	1ère année	Mauvais	Passable	Passable

**Tableau IX : Le score final à la fin de la 3ème séance de la première étape d'apprentissage "MM":**

	Année de spécialisation	Score final
Résident n°1	4 èmeannée	14
Résident n°2	3 èmeannée	12
Résident n°3	3 èmeannée	11
Résident n°4	3 èmeannée	13
Résident n°5	3 èmeannée	15
Résident n°6	2 èmeannée	12
Résident n°7	2 èmeannée	13
Résident n°8	1 èreannée	11
Résident n°9	1 èreannée	12
Résident n°10	1 èreannée	10

Au total, dix résidents de chirurgie traumatologique et orthopédique ont suivi la formation universitaire de microchirurgie dispensé à la faculté de médecine et de pharmacie d'Agadir. La première étape d'apprentissage est représentée par le modèle synthétique « micromontre » et permet de valider les 5 critères précitée au tableau 2. La totalité des participants l'a testé et l'a jugée très efficace comme outil pédagogique. Le temps pour réaliser le tour complet de la MM dans le sens horaire et antihoraire variait entre 100 secondes et 180 secondes lors de la première séance. Il était amélioré de 30 à 40 % entre la 1ere séance et la 3eme séance pour tous les participants. Un temps inférieur ou égal à deux minutes pour réaliser un tour complet paraissait acceptable pour juger de la bonne acquisition du geste de base. Les trois autres critères, à savoir la tenue des instruments, la régularité/fluidité des gestes et la qualité des nœuds, étaient également améliorés de la première à la troisième séance.

## II. Résultats de la deuxième et troisième étape d'apprentissage sur les modèles biologiques:

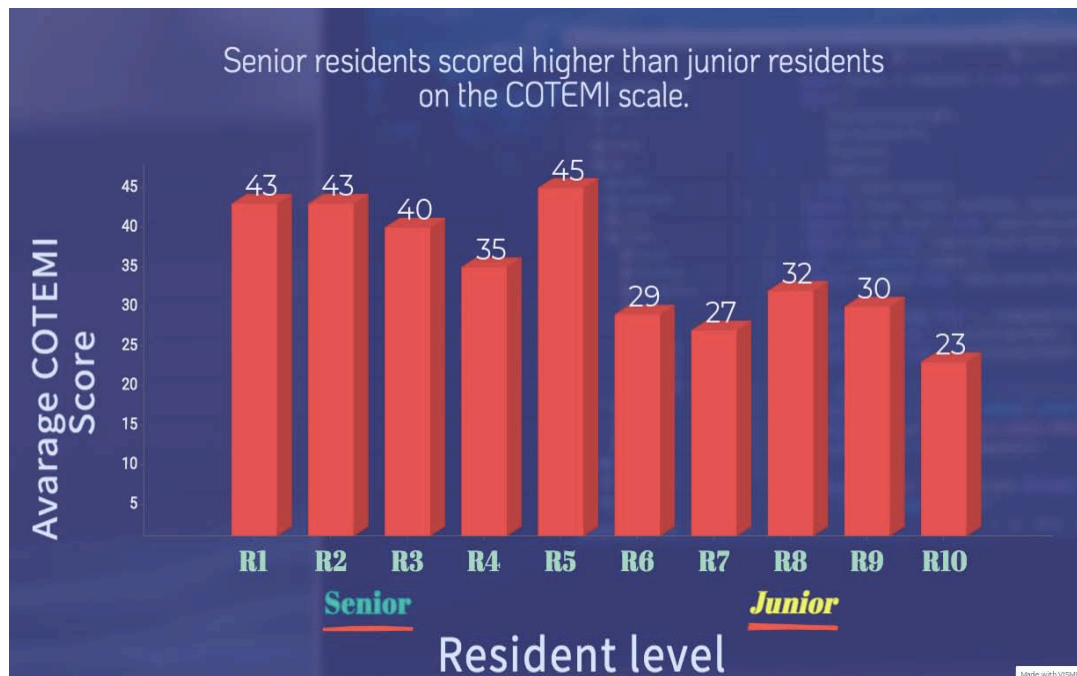
**Tableau X : Résultats de la deuxième étapes :temps entre le premier et le dernier pointmi-croanastomose de l'artère fémorale :**

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
Temps de réalisation du premier point	198s	202s	230s	215	250s	212s	199s	272s	267s	245s
Temps de réalisation du dernier point	98s	100s	120s	113s	99s	149s	137s	140s	102s	111s

**Tableau XI : Le score final obtenu par les opérateurs selon la grille d'évaluation COTEMI pour la deuxième et la troisième étape.**

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	Expert
Microscope	3	3	3	3	3	3	2	2	3	2	3
Dextérité	8	9	9	8	9	7	6	8	8	7	9
Préparation des vx	6	6	5	4	6	4	5	5	3	2	6
Anastomoses	10	11	9	8	10	7	6	8	6	6	12
Fluidité des gestes	3	3	3	2	3	2	2	2	2	1	3
Analyse	13	11	11	10	14	6	6	7	8	5	15
Total	43	43	40	35	45	29	27	32	30	23	48





**Figure 29: Senior residents scored higher than junior residents on the COTEMI scale :Residents with more experience scored higher.**

Les résidents seniors, de la 3eme à la 4eme année, ont obtenu des scores plus élevés sur l'échelle de COTEMI que les résidents juniors (1ère à 2ème année), avec des scores de 35 à 45 contre 23 à 32, respectivement, comme on peut le voir sur la figure(29). Les résidents ayant réalisé plus de 10 micro-anastomoses antérieures ont obtenu un score moyen de 40, contre un score de 27,5 pour les résidents ayant réalisé moins de 10 micro-anastomoses antérieures comme le montre la figure(29).

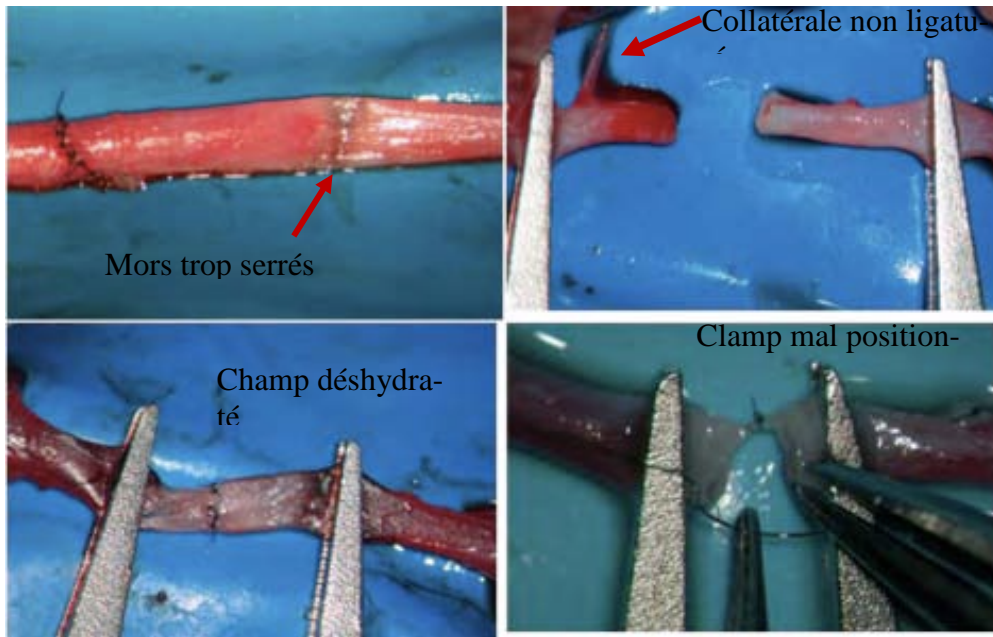
### III. Taux de réussite :

Tableau XII : Taux de réussite moyen dans notre programme:

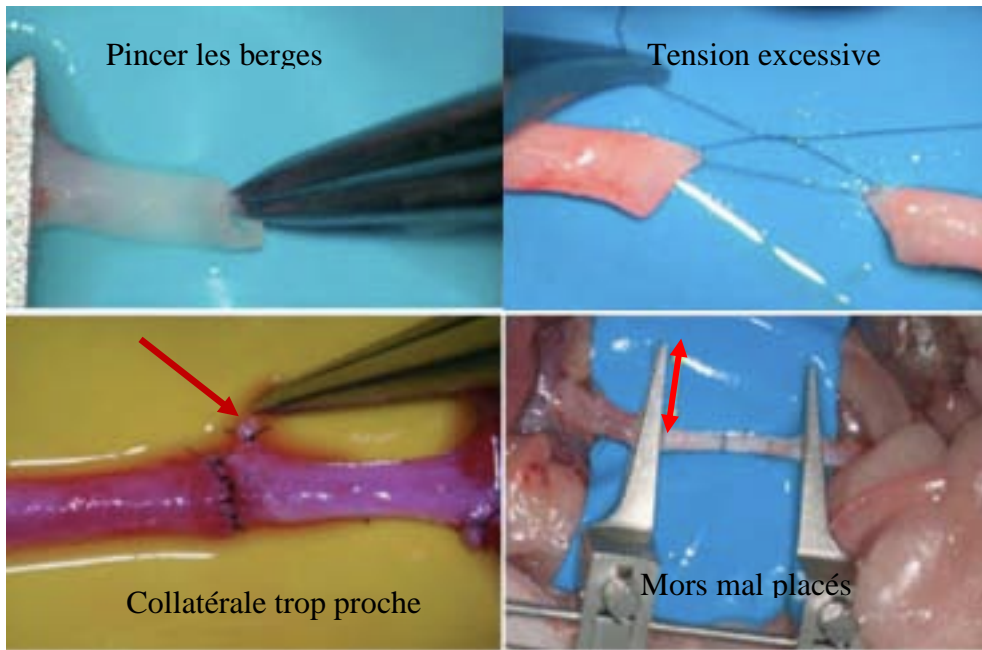
	Score moyen des participants dans la 1er étape:	Score moyen des participants dans la 2eme et 3eme étape :
	12,2	34,7
Taux de réussite	76,25%	72,25%
Taux de réussite moyen: 74,25%		

### IV. Les erreurs les plus souvent observées :

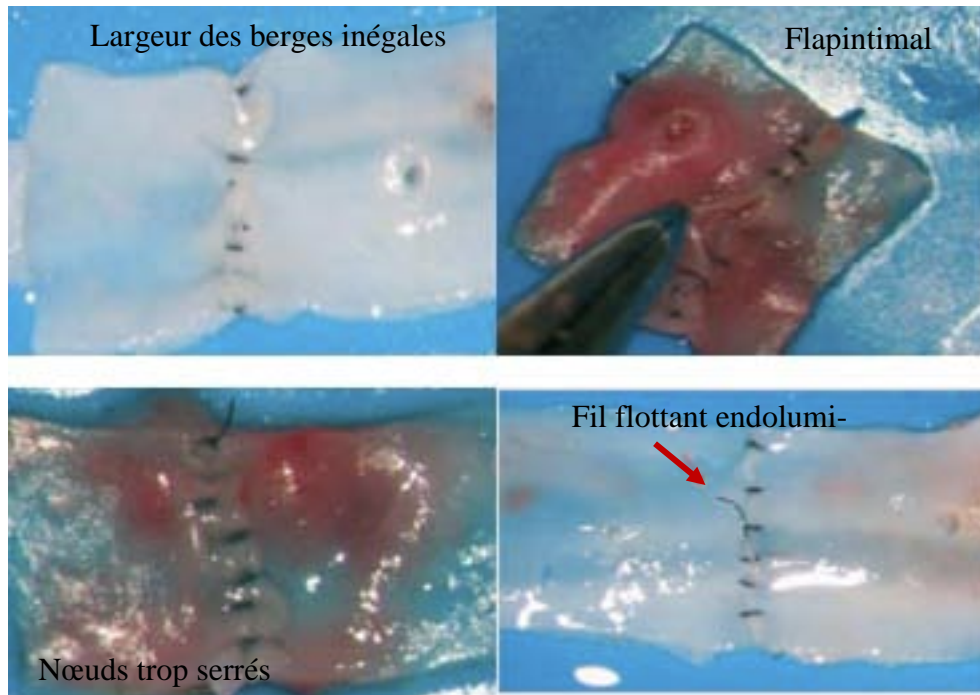
- Mors trop serrés
- Champ déshydraté
- Pincer les berges
- Tension excessive
- Mors mal placés
- Collatérale trop proche de la suture
- Fil flottant endoluminal
- «flap» intimal
- Nœuds trop serrés
- Collatérale non ligaturée : clampage inefficace
- Largeur des berges inégales
- Adventicectomie traumatique
- Réalisation erronée du Patency test



**Figure 30 : Les erreurs les plus souvent observés chez nos participants (1)**



**Figure 31 : Les erreurs les plus souvent observés chez nos participants (2)**



**Figure 32 : Les erreurs les plus souvent observés chez nos participants (3)**



# DISCUSSION



Les compétences microchirurgicales font partie du répertoire d'un chirurgien traumatologue-orthopédiste compétent, et les programmes de résidanats aux Maroc doivent intégrer l'enseignement de la microchirurgie dans leur programme de base. La formation en microchirurgie exige de la dextérité et de la pratique et repose sur un ensemble unique de principes qui diffèrent de l'ensemble des compétences chirurgicales habituelles. L'utilisation d'un microscope opératoire ou d'instruments spécialisés et le développement d'une bonne coordination main-œil font partie de ces compétences. La méthode traditionnelle consistant à maîtriser les compétences chirurgicales en étant un "apprenti" dans la salle d'opération est révolue. La formation moderne d'un résident en chirurgie a été remplacée par des compétences de base déterminées par l'Accreditation Council for Graduate Medical Education (Conseil d'accréditation pour la formation médicale supérieure), ainsi que par des exigences minimales en matière de cas. Les programmes améliorent l'efficacité de la formation chirurgicale en encourageant la formation par simulation et la formation pratique. La formation chirurgicale axée sur les compétences étant limitée par le nombre croissant de résidents, les règles strictes en matière d'heures de travail et la diminution de l'autonomie des résidents, les laboratoires de compétences microchirurgicales peuvent constituer un complément efficace à la formation.

### **I. Taux de réussite :**

Si le trop petit nombre de cas étudiés ne permet pas d'apporter d'élément nouveau par rapport aux expériences déjà décrites, il est néanmoins intéressant d'analyser la variation des paramètres liés à la performance de l'opérateur, au cours des semaines d'entraînement.

Pour la deuxième étape d'entraînement sur les cuisses de poulet, on a observé une diminution statistiquement significative entre le temps requis pour effectuer le premier point (198-272 secondes) et le temps requis pour effectuer le dernier point (92-149 secondes), soit une diminution moyenne de 48,7 % (115 secondes). Les résidents juniors (années 1-2) et seniors (années 3-4) ont enregistré des réductions de temps de réalisation des points (49,1 % et 42,21 %, respectivement).

Le taux de réussite est de 74,25 % pour les trois étapes de notre programme. Aucun article ne relate de cette technique, mais on constate que le taux de réussite de cette série est assez similaire à ceux rapportés dans la littérature concernant d'autres procédures de microchirurgie vasculaire. Shapiro et Cerra [31] enregistrent 77 % de succès au cours de leur technique d'auto transplantation de la patte de rat. Cependant ils utilisent dans leur protocole l'injection de lidocaïne destinée à favoriser l'ouverture des lumières vasculaires et donc à faciliter la réalisation des anastomoses. Hiotis et al. [32], qui n'utilisent pas de lidocaïne mais pratiquent une injection intrapéritonéale d'héparine en début de dissection, rapportent 49 % de réussite, la majorité (71 %) des échecs étant précoces et liés à des erreurs techniques ; Il est donc incontournable de suivre avec rigueur les étapes élémentaires de la technique pour parvenir à progresser. La microchirurgie étant une discipline qui demande relâchement, concentration et précision dans les gestes, il convient, tant que faire se peut, de réaliser les techniques microchirurgicales dans les meilleures conditions physiques et psychiques possibles. En effet, les conséquences du stress et de la fatigue sont des facteurs péjoratifs concernant la réussite des procédures. Ainsi, dans notre série, on observe que un tiers des échecs ont lieu après une nuit de garde ( durée de sommeil inférieure à 4 heures dans tous les cas), alors que pour les interventions couronnées de succès, seulement une d'entre elles (17 %) s'est effectuée dans ce contexte. Cette tendance a été confirmée tout au long de cet apprentissage, sur des procédures réalisées en dehors de cette série, et confirme les données de la littérature qui démontrent un taux de complications plus important chez le chirurgien qui opère après moins de 6 heures de sommeil [33].

## **II. Facteurs influençant la progression du microchirurgien en formation :**

Les résultats présentés dans notre série montrent clairement l'effet d'un entraînement régulier et intensif sur la réussite des interventions microchirurgicales. Cette constatation est en accord avec les résultats de la littérature [34-36] .

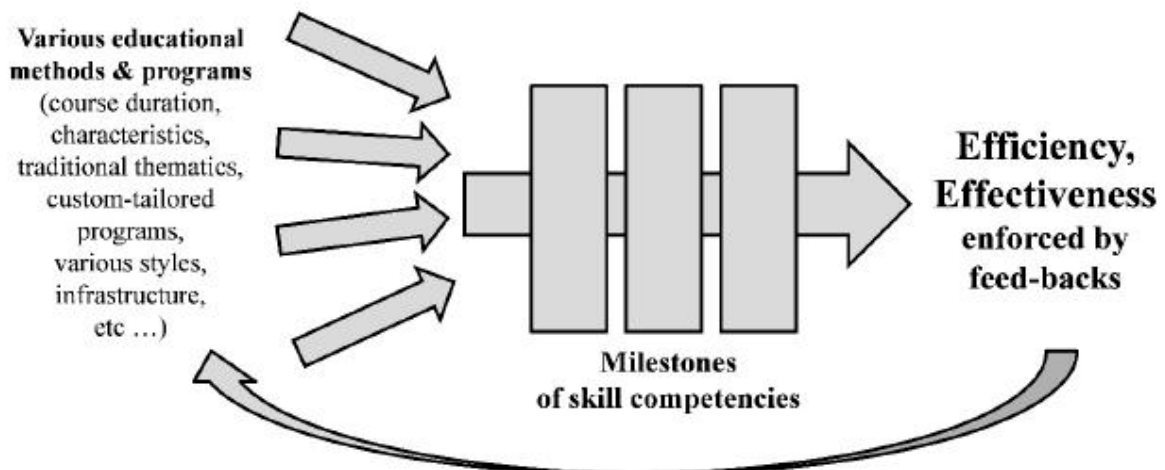
La répétition des gestes et des interventions s'affirment donc comme le facteur principal permettant une amélioration des résultats en microchirurgie tant pour la perméabilité des anastomoses que pour la réduction de la durée de l'intervention. Ainsi, le gain de temp-

sopératoire doit être envisagé uniquement lorsque la technique de base est parfaitement maîtrisée ; ce qui implique une rigueur indispensable à l'exécution de chaque étape de la procédure microchirurgicale. Finalement tous les auteurs s'accordent à dire que, quelle que soit la technique d'anastomose pratiquée, le critère évolutif principal reste la régularité d'entraînement [35]. Pichierri et al. [36] décrivent en effet l'évolution de l'apprentissage d'un groupe de 16 étudiants en formation microchirurgicale sur un mois (50 heures) ; l'auteur met en évidence une progression manifeste à partir de la 7<sup>ème</sup> séance. À la fin cette formation intensive, 75 % d'entre eux parvenaient à réaliser les techniques d'anastomoses vasculaires demandées.

Denombreux articles ont été publiés sur l'éducation et la formation en microchirurgie au cours des deux dernières décennies. Ces articles se concentrent principalement sur les méthodes permettant d'améliorer l'efficacité de la formation, en fournissant des modèles et des programmes éducatifs définitifs (37-52). En effet, pour obtenir et pratiquer des techniques de suture sûres, une préparation atraumatique des tissus, des mouvements fins et précis, des programmes pratiques bien établis et bien contrôlés sont nécessaires. Cependant, la palette méthodologique, comme pour les programmes éducatifs, est très colorée. Sur les sites web, contenant les annonces de cours, la méthode d'enseignement ne peut pas être nécessairement identifiée car les En ce qui concerne les cours de microchirurgie, il est important de mettre l'accent sur les 3R (Remplacement, Réduction et Raffinement) de éthique. Pour la sécurité chirurgicale et la réussite du travail microchirurgical en pratique clinique, il est nécessaire de s'exercer sur des tissus vivants, mais après un niveau de compétence microchirurgicale bien établi, acquis lors de formations sur différents modèles et bio préparations. Si le participant n'atteint pas un certain niveau de compétence, il n'est pas autorisé à travailler sur des tissus vivants (rat anesthésié). Dans une étude précédente, nous avons analysé un échantillon des cours trouvés sur le web (91 données de cours de 21 pays) il est devenu évident que :



1. La demande d'opportunités de formation en microchirurgie est élevée dans le monde entier, bien que l'accessibilité soit en train de changer.
2. L'accessibilité est influencée par de nombreuses barrières à l'entrée, telles que le nombre maximal de candidats, le nombre de postes de travail au microscope et de tuteurs, et le montant des frais d'inscription/de scolarité, entre autres.
3. Les heures offertes varient dans une large gamme.
4. Il n'y a que quelques cours qui proposent des formations de plus de 40 heures à un prix décent, offrant un rapport heure de cours/prix relativement bas (53). A notre contexte la formation est gratuite et le nombre de poste est de 5 sur 10 résidents



**Figure 33: L'importance de la variété des programmes de formation en microchirurgie menant le participant à un certain niveau de compétences (jalons d'aptitudes et de compétences), et la nécessité d'un retour d'information à court et à long terme.**

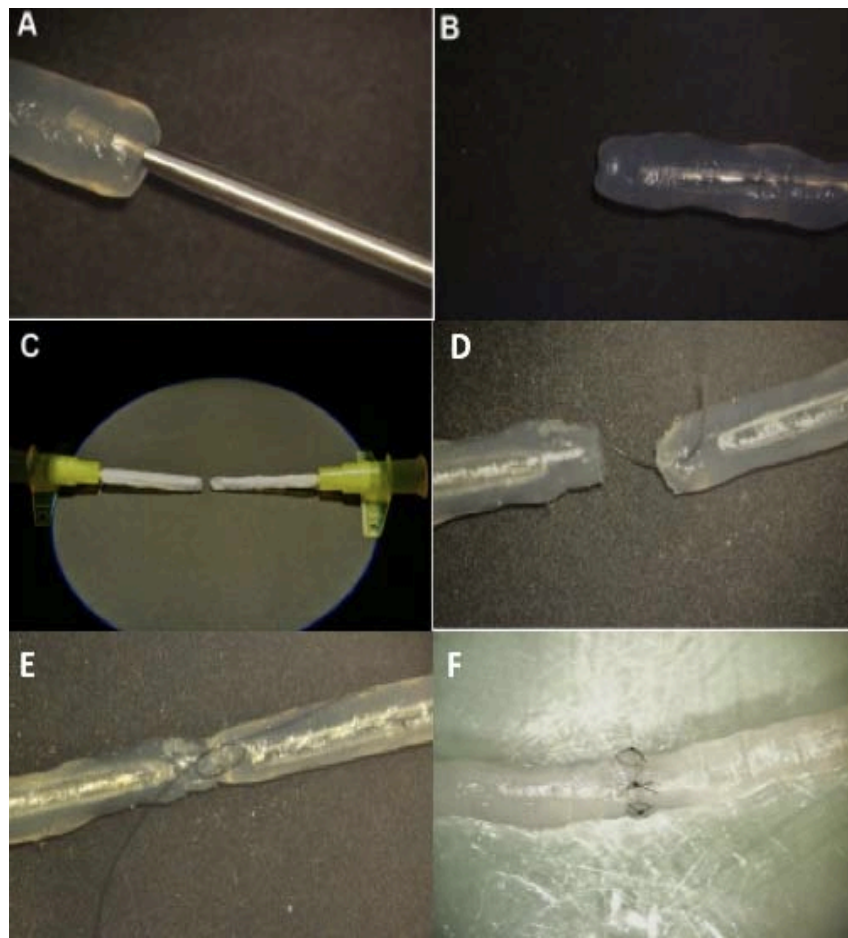
### III. Les différents modèles d'apprentissage :

L'enseignement moderne de la microchirurgie se compose de modèles synthétiques, animaux et cadavériques humains pour enseigner l'ensemble des compétences nécessaires pour réussir en tant que microchirurgien. Bien qu'ils ne soient pas spécifiquement impliqués dans l'amélioration des connaissances en matière de reconstruction microchirurgicale, ces modèles servent de plateforme pour apprendre et améliorer les techniques de microchirurgie avant leur utilisation sur des patients dans la salle d'opération. Ils permettent aux résidents de développer leur dextérité manuelle et leur savoir-faire opératoire. Ces modèles ont été intégrés aux programmes de formation des résidents par le biais d'un enseignement didactique. Nombre de ces modèles ont été formellement validés, y compris des méthodes spécifiques telles que l'œil de porc, la cuisse de poulet, la carte en polyuréthane, l'artère fémorale de rat, la tubulure en silicone, le ver de terre... (54-60).

#### a. Les modèles synthétiques:

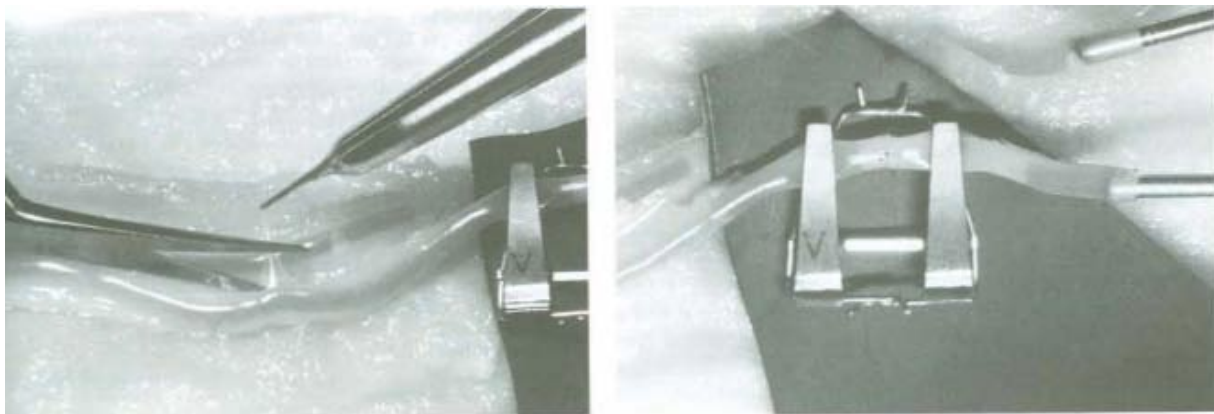
Les modèles de formation prothétique utilisés pour permettre aux résidents de développer et de pratiquer leur technique microchirurgicale. Les modèles en carton, les feuilles/gants en latex et la gaze chirurgicale sont parmi les exemples les plus économiques. (55) Le modèle de formation "round-the-clock" de Chan et al a également été proposé, où les participants doivent passer une microsuture à travers les chats de l'aiguille et compléter le cercle 3 fois (55). Le "modèle de nouilles japonaises « konnyakushirataki » s'est avéré très proche du diamètre de l'artère fémorale d'un rat et constitue une technique d'entraînement peu coûteuse (figure 34). Des tubes en silicone, des tubes en polyéthylène enveloppés d'adventice synthétique et des vaisseaux de simulation synthétiques « PracticeRat » ont été proposés pour simuler la taille et la forme des vaisseaux sanguins (56-57-60). figure (35)

Un modèle de simulation à base de silicone a été proposé pour la formation à la microchirurgie des nerfs périphériques, imitant les tissus humains (61). figure (36)

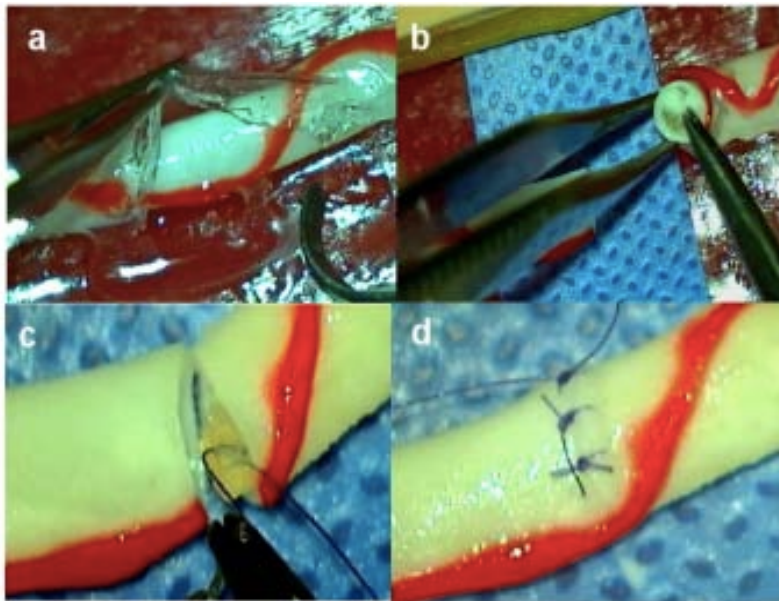


**Figure34:Modèle de konnyakushirataki:**

**(A): Perçage pour production de la lumière, (B): L'aiguille du cathéter en place, le konnyaku est retiré incomplètement pour laisser une longueur de 5 mm de lumière pour permettre l'anastomose, (C): Modèle prêt à être anastomosé, (D), (E), (F): anastomose TT par le fils 10/0,**



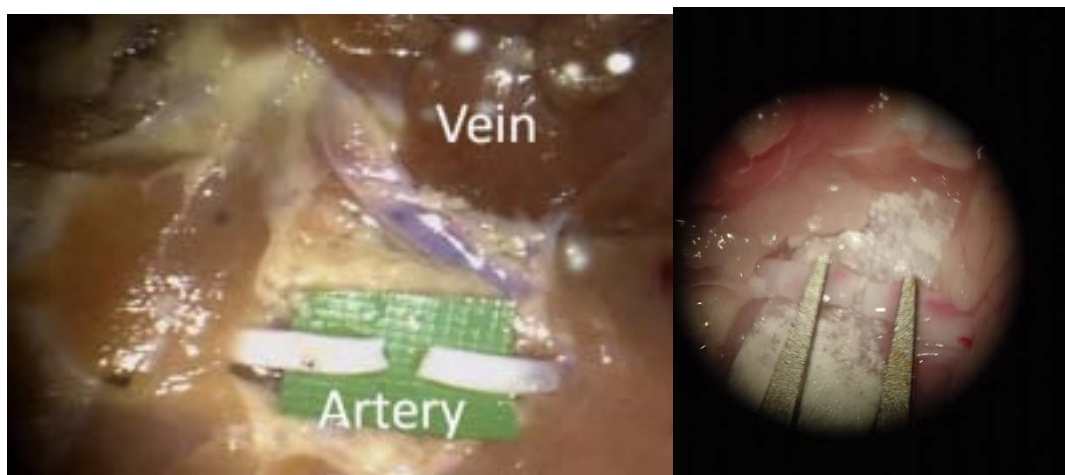
**Figure 35: microdissection et anastomose TT sur des vaisseaux de simulation synthétiques**  
**« PracticeRat »**



**Figure 36: Modèles de simulation à base de silicone pour la microchirurgie du nerf périphérique**

**b. Modèles animaux:**

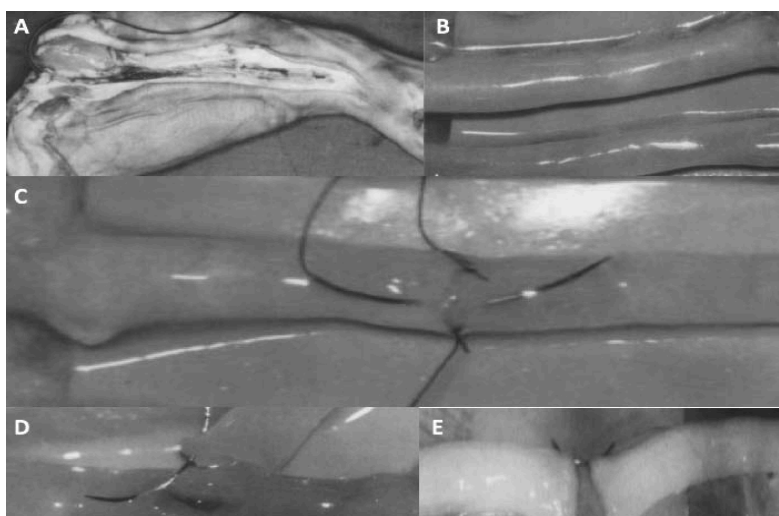
Les modèles animaux, qu'ils soient cadavériques ou vivants, offrent certaines des possibilités de simulation microchirurgicale. Les modèles de tissus cadavériques animaux sont plus proches des tissus humains vivants et constituent un modèle de formation supérieur aux modèles prothétiques. Les spécimens classiques utilisés pour la formation sont les modèles de poulet, de rat et de porc (62-72). Les spécimens de poulet sont facilement disponibles et peu coûteux, ce qui en fait un choix populaire pour la simulation de microchirurgie. figure(34)



**Figure 37: suture terminotermine sur modèle de cuisse de poulet.**

Le modèle de cuisse de poulet à sang bleu "TBBCTM" (The Blue-Blood Chicken Thigh Model) utilise des microvaisseaux pour fournir une plate-forme de formation aux résidents. la formation de microchirurgie utilisant ce modèle a démontré l'amélioration du confort et de la confiance des résidents dans l'utilisation d'un microscope, la manipulation d'instructions microchirurgicales, la manipulation de tissus, la manipulation d'aiguilles, la microdissection et la réalisation d'anastomoses. Le modèle offre en outre une expérience in vivo (73).

Les modèles de cuisse de porc PTM(Porcine ThighModels) présentent certains avantages par rapport à d'autres modèles d'animaux vivants, car ils ont des vaisseaux sanguins et des nerfs plus longs et plus grands, ce qui permet de multiples tentatives d'anastomose vasculaire et de suture nerveuses épi-périneurale. (67-69) La rate et les vaisseaux coronaires de porc ont également été décrits dans la littérature pour l'entraînement microvasculaire.



**Figure 38: modèles de cuisse de porc (Porcine ThighModels): (A) Dissection, (B) Comparaison de l'artère ulnaire humaine (pièce d'amputation) avec l'artère de la cuisse de porc, (C) Anastomose TT, (D) Anastomose TL, (E) Suture épipérineurale.**

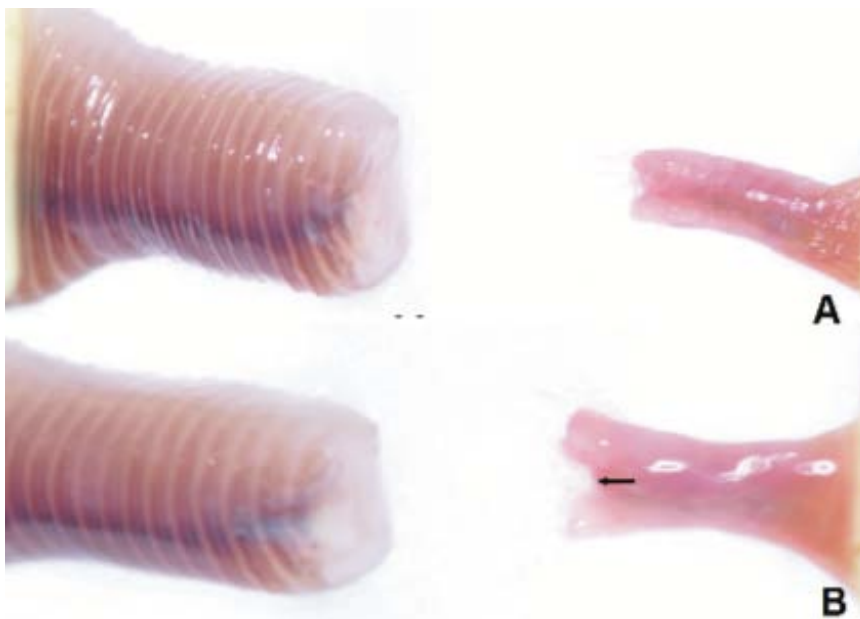
Franck Marie et Esther Vö gelin ont envisagé un modèle simple qui peut fournir une solution aux problèmes de base suivants rencontrés au cours de la formation en microchirurgie (75,76): règles d'éthique, coût prohibitif, anesthésie temps nécessaire à la préparation des animaux et aux voies d'abord avant de pratiquer l'acte microchirurgical, ou encore l'heure d'ouverture limitée et nombre de places restreintes au laboratoire.

Dans cette étude prospective, 150 exercices microchirurgicaux d'anastomoses de vaisseaux incongruents ont été effectués sur 182 animaux. Comme dans les deux autres études précédentes (75,76), nos résultats mettent en évidence une amélioration de la rapidité d'exécution et de la dextérité avec le temps tous groupes confondus. Cette série confirme objectivement les nombreux avantages associés au modèle Lumbricus terrestris (LTM) pour la formation de base en microchirurgie : le stockage de ce modèle animal est simple et peu coûteux, leur ubiquité fait qu'il est possible d'utiliser des tailles d'animaux adaptées à la difficulté de la formation souhaitée ; plusieurs formations peuvent être réalisées avec seulement une partie de l'animal et le reste peut être stocké pour une utilisation ultérieure. Cela a été démontré par ces études, où seulement 182 animaux ont été utilisés pour effectuer 150 exercices microchirurgicaux ; aucune anesthésie n'est nécessaire car l'animal est sacrifié avant la procédure. Dans ce contexte, il est important de noter que, malgré sa mort, la texture de l'animal reste similaire à celle de la paroi artérielle ; l'exercice microchirurgical lui-même ne nécessite pas de temps de préparation comme c'était le cas dans les modèles animaux conventionnels ; et la formation sur ce modèle peut également être réalisée avec des loupes à la maison le week-end si le chirurgien est assez motivé.

En dépit des avantages mentionnés ci-dessus, on pourrait reprocher quelques inconvénients à ce modèle. Tout d'abord, un test de perméabilité classique comme le patency-test n'est pas possible. Dans cette étude ils ont montré qu'une alternative par injection de liquide physiologique dans le corps de l'animal à l'aide d'une seringue était facilement réalisable. En outre, une incision longitudinale du modèle après l'opération permettait la visualisation de la qualité des sutures et l'absence de points transfixiants ou d'invagination des parois. Ces tests simples démontrent que l'amélioration de la vitesse d'exécution ne s'était pas faite au détriment de la qualité des micro-anastomoses. Deuxièmement, l'adventicectomie, étape essentielle pour obtenir des microanastomoses de qualité, est difficilement réalisable sur ce modèle. Troisièmement, puisque les anastomoses réalisées ne sont pas suivies au fil du temps, les blessures de l'intima ne peuvent être détectées correctement. Toutefois, il a été possible d'évaluer la lumière du vaisseau et de

contrôler les blessures intérieures après avoir réalisé l'incision longitudinale de l'animal . Mais encore, si la texture de la paroi de l'animal est semblable à celle de la paroi artérielle , elle est significativement différente de la texture de la paroi veineuse . Enfin, seules les formations pour la technique d'anastomoses de vaisseaux incongruents sont présentées ici . Toutefois, les autres techniques comme l'anastomose termino-terminale ou termino-latérale ont déjà été réalisées avec ce modèle (75,76). Figure(39,40)

Malgré toutes ces limites, le prix, la simplicité, l'accessibilité et l'efficacité de la formation à partir de ce modèle animal suggèrent que son utilisation pour l'apprentissage de la microchirurgie va considérablement se développer dans un avenir proche.



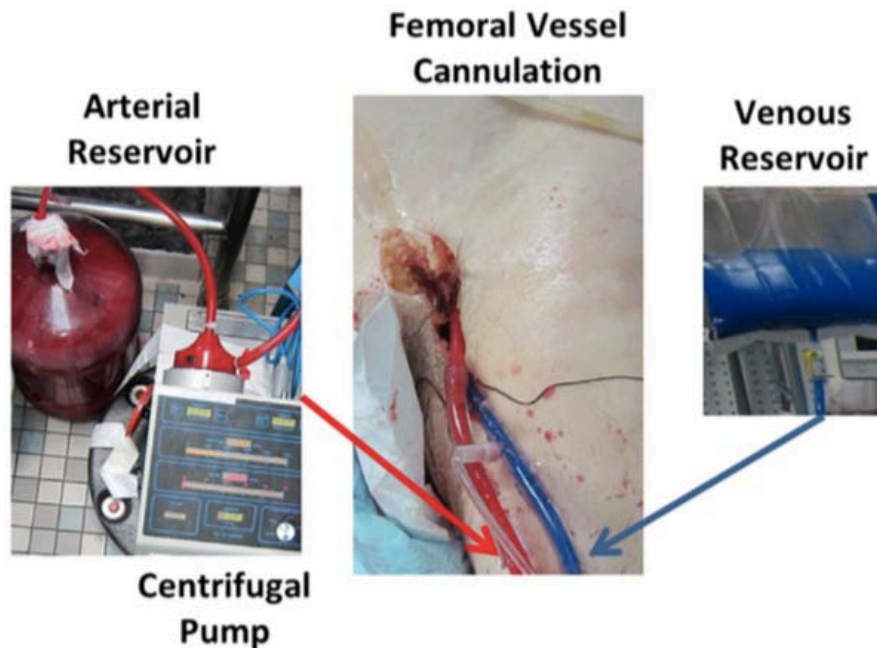
**Figure 39 : Technique d'Harashina: A : Animaux de diamètres très incongruents clampés B : Incision en bouche de poisson (flèche noire) sur l'extrémité mitée incongruente de petite taille**



**Figure 40: Ré sultat après microanastomose selon la technique d'Harashina**

L'utilisation de cadavres humains dans la formation aux compétences microchirurgicales est supérieure aux modèles cadavériques animaux parce qu'elle fournit le tissu le plus "similaire" et représente un autre modèle d'éducation pour les stagiaires qui apprennent et perfectionnent leurs compétences en dehors de la salle d'opération. Les cadavres humains sont particulièrement utiles pour l'apprentissage des concepts de reconstruction microchirurgicale, tels que la dissection du pédicule et l'exposition du vaisseau (77-79). Ces modèles de cadavres offrent également une formation approfondie pour les procédures hyper-spécialisées telles que les transplantations et les reimplantations (80). En outre, des cadavres de tissus humains encore perfusés ont été développés et peuvent être utiles pour la simulation microchirurgicale. Ils sont créés par canulation de grands vaisseaux pour simuler au mieux la perfusion *in vivo*, ce qui permet d'évaluer l'anastomose microchirurgicale et l'évaluation de la perméabilité (figure 41). Ces techniques offrent le niveau de formation le plus élevé (77-79). Cependant, ils ne sont pas aussi accessibles que les autres modèles décrits précédemment.





**Figure 41: Démonstration de la canulation de l'artère fémorale gauche. Des colorants rouges et bleus sont utilisés pour la perfusion artérielle et veineuse respectivement. Le système artériel est perfusé à l'aide d'une pompe centrifuge.**

#### **IV. Évolution des technologies et nouvelles orientations de la microanastomose par laser :**

Le laser produit une lumière monochromatique spatialement et temporellement cohérente grâce à trois composants :

- Un milieu dans lequel les photons sont recus et où la lumière désirée est produite
- Une source d'énergie ou source d'excitation ;
- Une cavité de résonance , système de miroirs , dont au moins un est partiellement réfléchissant

Actuellement six types de laser sont été ou sont utilisés en chirurgie vasculaire pour réaliser les anastomoses : le laser CO<sub>2</sub>, le laser Argon, le laser neodymium-yttrium-tetanyl-phosphate (Nd:YAG) et les lasers diode 670nm, 810nm et 1950nm. En particulier, le laser diode 1,9m a été utilisé avec succès dans de nombreux travaux animaux et cliniques et la technique chirurgicale.

### 1. Laser CO2

La longueur d'onde de ce type de laser est de 10,6  $\mu\text{m}$  (Fig.42). Elle est particulièrement absorbée par l'eau, composant majoritaire des parois vasculaires (81).

### 2. Laser Argon

Le laser Argoné met plusieurs d'ondes dont les principales sont 488 et 514nm. A l'heure actuelle, le chromophore endogène, c'est-à-dire la substance capable de permettre l'absorption de cette longueur d'onde par le tissu, reste méconnu. Typiquement, la profondeur de pénétration à 514nm est de l'ordre de 2mm (82).

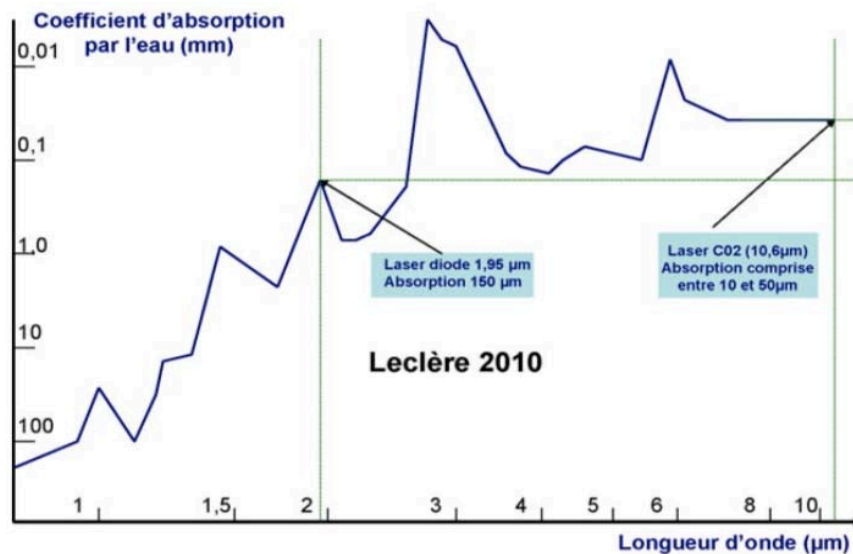
### 3. LaserNd:YAG

Sa longueur d'onde peut être soit de 1,06  $\mu\text{m}$ , soit 1,32  $\mu\text{m}$  ou bien 1,9  $\mu\text{m}$  (YAG Raman): ce qui correspond à la portion spectrale relative aux infrarouges. Typiquement, la profondeur de pénétration est de l'ordre de 10 à 50  $\mu\text{m}$  (83).

### 4. Les lasers diodes

Les principales longueurs d'onde utilisées sont 670nm, 810nm et 1950nm. La longueur d'onde 670nm a été choisie pour sa compatibilité avec le bleu de méthylène, un chromophore exogène. Ce dernier se décolore au contact du faisceau laser donnant ainsi au chirurgien un rétrocontrôle visuel. La longueur d'onde 810nm est généralement associée avec un autre chromophore appelé vert d'indocyanine, qui permet d'améliorer son absorption dans les tissus et donc de limiter la pénétration optique. Cependant, l'utilisation de tels chromophores devraient faire la preuve de leur non-toxicité. En outre, leur application complique la technique chirurgicale dont le but premier était la simplification de la technique conventionnelle.

Le laser diode 1,95  $\mu\text{m}$  a une pénétration optique de l'ordre de 150  $\mu\text{m}$  (Fig.42). Cette valeur apparaît particulièrement adaptée à l'épaisseur des parois vasculaires retrouvées en microchirurgie et ne nécessite aucun ajout de chromophore (84).



**Figure 42: Absorption par l'eau des longueurs d'onde 1,95 m (diode) et 10,6 m (CO2). Water absorption by 1.95- m (diode) and 10.6- m (CO2) wavelengths.**

Dans la technique hybride, la microsuture conventionnelle en bi- ou tri-angulation est utilisée pour rapprocher les parois vasculaires. Une soudure de la paroi antérieure puis postérieure est ensuite effectuée par le laser (Fig.43). L'énergie laser est appliquée en spots régulièrement espacés ou selon un mode continu appelé balayage. Pour que la technique soit reproductible, l'étude devra en plus des caractéristiques du laser préciser le mode de transmission de l'énergie lumineuse, la divergence de la lumière à sa sortie, la distance de la source à la cible, la taille effective du spot.

Les études sur des modèles animaux ont bien mis en évidence les avantages de la technique laser :

- Le nombre réduit de microsutures entraîne un moindre traumatisme de l'intima et une réaction inflammatoire plus réduite. Récemment, Puca et al l'ont confirmé par une analyse immuno-histochimique des vaisseaux opérés par la technique laser : l'endothélium est rapidement régénéré, il n'y a pas d'hyperplasie intimale et les fibres élastiques ne sont pas lésées (85).

- Le saignement après déclantage est fortement réduit (Fig.43). Le risque de compression externe de la microsuture est minime (86).

- Le temps imparti à la réalisation de la microanastomose et par là le temps d'exposition du vaisseau mais aussi le temps d'ischémie sont ainsi fortement réduits (87).
- Finalement, l'utilisation du laser apparaît aisée et conduit à une congruence parfaite des parois avec un meilleur alignement des intimas sans plissements qui pourraient réduire le débit sanguin et entraîner la thrombose des vaisseaux opérés (88). Dans une méta-analyse regroupant 70 séries, Wolf-de Jonge et al soulignent les avantages de la technique laser et ses limites. Pour mieux comprendre le passage de la recherche animale aux études cliniques, il convient de revenir ici sur quatre notions fondamentales : le mécanisme d'action, la résistance des anastomoses au regard des fluences et des longueurs d'onde utilisées et les limites de la technique incluant notamment les formations anévrismales, mais aussi la maniabilité des appareils utilisés.



**Figure 43 : Microanastomose de carotide de rat réalisée par laser 1,95 m après mise en place de deux microsutures de rapprochement (flèche jaune). Après lâchage des clamps, on n'observe aucun saignement.**

Une évolution majeure de ces dernières années dans l'industrie du laser est la mise au point des diodes lasers. Cet apport technologique permet actuellement de concevoir des sources lasers fiables (89) et de très petite taille. Un laser diode encore appelé laser à semi-conducteur présente en effet de nombreux avantages :

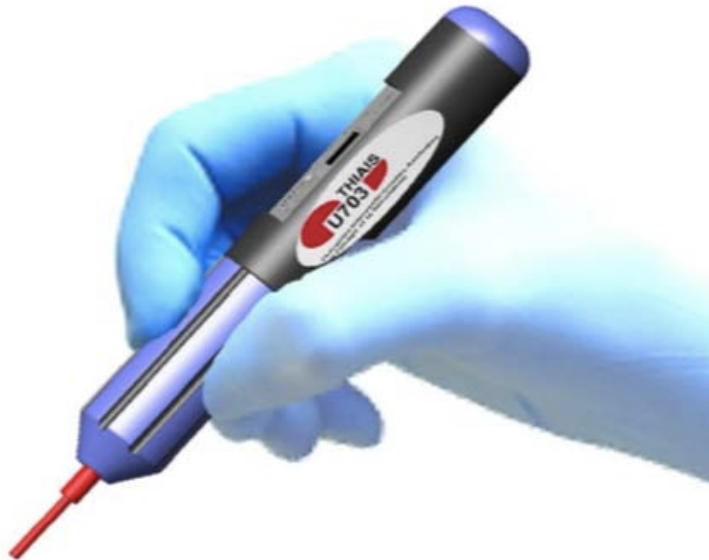
- Il permet un couplage direct entre l'énergie électrique et la lumière ;
- Cette conversion d'énergie se fait avec rendement excellent comparé à d'autres types de laser (de l'ordre de 30 à 40%)
- Ces lasers sont peu coûteux et particulièrement compacts.



**Figure44 : Micro anastomose d'artère digitale réalisée par laser 1,95 m après mise en place de deux microsutures de rapprochement, lors d'une replantation.**

Les nombreuses séries animales et les deux séries cliniques réalisées à l'aide du laser diode 1,9 m ont bien montré que la puissance nécessaire était de l'ordre de 100mW et que le temps d'application était minime : cinq spots laser de 1s sur chacune des faces dans les dernières séries animales soit dix spots en tout et une durée d'utilisation de 10 s par vaisseaux. Dans le cadre de lambeaux libres, deux ou trois vaisseaux sont anastomosés (une artère et une ou deux veines le plus souvent ) : la durée d'utilisation est donc toujours inférieure à une minute. Vu la faible puissance nécessaire, le temps d'application réduit et le bon rendement énergétique du système diode, des recherches sont en cours pour obtenir un laser de poche de la taille d'un stylo figure (45). Un tel système serait conçu avec un emballage stérile jetable et pourrait fonctionner aisément sur batterie. Dans ce contexte, il

est intéressant de souligner l'apparition de laser portable dans d'autres applications chirurgicales comme la cicatrisation cutanée (90).



**Figure 45 : Vu la faible puissance nécessaire, le temps d'application réduit et le bon rendement énergétique du système diode, des recherches sont en cours pour obtenir un laser de poche de la taille d'un stylo.**



## CONCLUSION



La microchirurgie est une branche de la chirurgie qui se concentre sur les interventions chirurgicales réalisées à l'aide d'un microscope opératoire ou d'autres équipements de grossissement élevé. Elle est utilisée pour traiter des pathologies complexes dans des zones anatomiques très délicates, notamment les vaisseaux sanguins, les nerfs et les tissus mous.

La microchirurgie est souvent utilisée dans le cadre de procédures de reconstruction, telles que la reconstruction vasculo-nerveuse après une blessure traumatique ou la greffe de tissus dans des zones endommagées. Elle est également utilisée dans le cadre de procédures de transplantation ou réimplantation d'organes.

Les instruments utilisés en microchirurgie sont très fins et précis, ce qui permet aux chirurgiens d'effectuer des opérations complexes avec une grande précision.

Nous rapportons dans notre travail une étude prospective réalisée sur des résidents en Traumatologie-orthopédie, qui consiste à évaluer un programme de formation en microchirurgie vasculaire et nerveuse à 3 étapes, dans le laboratoire de microchirurgie de la faculté de médecine et de pharmacie d'Agadir.

Cette étude confirme l'importance de la formation et de l'entraînement de l'opérateur, qui est le facteur le plus important concernant la réussite d'une procédure. La formation microchirurgicale en laboratoire semble essentielle afin d'acquérir la dextérité, l'aisance et l'expérience nécessaires à la réalisation de procédures microchirurgicales chez l'homme et permet, en outre, la réalisation d'une simulation chirurgicale.





## RESUMES



## Résumé

La microchirurgie nécessite un degré élevé de dextérité et de compétences manuelles qui doivent être entièrement et préalablement acquises en dehors du bloc opératoire. Elle tend à devenir de plus en plus une compétence essentielle que tout chirurgien traumatologie-orthopédiste doit acquérir. La fréquence des plaies de la main avec lésions vasculaires et nerveuses dans notre contexte représente un exemple parmi d'autres qui justifie l'importance et la place essentielle de la microchirurgie dans notre pratique courante. Par conséquent, la formation en microchirurgie est maintenant un élément essentiel du programme de formation des résidents de traumatologie-orthopédie.

Notre étude était réalisée sur 10 résidents en Traumatologie-Orthopédie, pour évaluer l'efficacité d'un programme de formation en microchirurgie vasculaire et nerveuse à trois étapes, dans le laboratoire de microchirurgie de la Faculté de Médecine et de Pharmacie d'Agadir, sur une période de dix demi-journées.

La 1ère étape se fait sur un simulateur synthétique (Micro-Montre) permettant l'adaptation avec les instruments et le microscope, la 2ème étape utilise des modèles biologiques non vivants (cuisses de poulets) permettant l'apprentissage sur un milieu proche des tissus humains à faible coût et la 3ème étape finit par des modèles biologiques vivants (Rats). Les techniques de microchirurgie enseignées étaient : la dissection au microscope, les anastomoses microvasculaires et les sutures épi-péri neurales des nerfs périphériques. Elles ont été évaluées selon la grille de COTEMI.

Les résultats ont montré une amélioration significative des compétences en microchirurgie chez nos résidents dont le taux de réussite dans notre série est de 74,25 %, ce qui est proche à ceux rapportés dans la littérature.

Il est capital de souligner l'importance de la répétition et de la variété des programmes d'apprentissage afin de maximiser les bénéfices et préparer efficacement les résidents pour les interventions chirurgicales complexes.

## Abstract

Microsurgery requires a high degree of dexterity and manual skills that must be acquired entirely outside the operating room. Microsurgery is increasingly becoming an essential skill that every traumatology surgeon must acquire. The frequency of hand wounds with vascular and nerve damage in our context represents one example among others that justifies the importance and essential place of microsurgery in our current practice. Therefore, microsurgery training is now an essential component of the trauma-orthopedics resident training program.

Our study was conducted on 10 residents in Trauma-Orthopedics, to evaluate a training program in vascular and nerve microsurgery in three steps, in the laboratory of microsurgery of the Faculty of Medicine and Pharmacy of Agadir, over a period of 10 half-days.

The 1st step is done on a synthetic simulator (Micro-Montre) allowing the adaptation with the instruments and the microscope, the 2nd step uses on non-living biological models (chicken legs) and the 3rd step ends with living biological models (Rats). The microsurgery techniques taught were: microscopic dissection, micro-vascular anastomoses and epi-neural sutures of peripheral nerves. They were evaluated according to the COTEMI grid. The results showed a significant improvement in the microsurgical skills of our residents with a success rate of 74,25% in our series. This is similar to those reported in the literature. Learning programs should be designed to encourage the repetition of these gestures to maximize benefits and effectively prepare residents for complex surgical procedures.

## ملخص

تتطلب الجراحة المجهرية درجة عالية من الدقة والمهارة اليدوية التي يفترض اكتسابها خارج جغرافية العمليات .  
اضحت الجراحة المجهرية أكثر من أي وقت مضى مهارة أساسية يجب أن تتوفر لدى كل طبيب مختص في جراحة العظام والمفاصل  
وفسيقاظر وفالحالية يعتبر تواتر جرح وحالي دمعتلفالأو عية الدموية والأعصاب من بين الأمثلة العديدة التي تؤكد أهمية  
ة الجراحة المجهرية وتمكانتها الأساسية في ممارستنا الحالية .  
ومناجلذلكاصبحتكونيفيمجال الجراحة المجهرية الآن جزءا أساسيا منبرامجالتكويالتيتتلقاهاالأطباءالمقيمون  
في جراحة العظام والمفاصل .

يتضمن البحث دراسة أجريت على عشر أطباء مقيمين في جراحة العظام والمفاصل وذلك من أجل تقييم مدى فعالية خبرنا كمجتر  
ببيفيالجراحة المجهرية الوعائية والعصبية منجز على ثلاث مراحل في مختبر الجراحة المجهرية بكلية الطب والصيدلة بـ  
كادير علمدعشرة أيام، وهي كالآتي :

- في المرحلة الأولى سيتم إنجاز عملية محاكاة لجهاز باصطناعيو ذلكمناجلالتأقلممعأدواتالجراحةالمجهرية  
هريةوالمجهر .
- المرحلة الثانية تتم على مستوى نموذج بيولوجي غير حي ( فخضالدجاج )  
ويمكن هذا الأخير من التدرج بعلم نموذجيقار بأنسجة الإنسان بأقل تكلفة .
- المرحلة الثالثة تتم على مستوى نموذج بيولوجي ( الفئران )  
ولقد تم تقييم المراحل الثلاثة المذكورة من خلال قائمة COTEMI .
- وكخلاصة يجب أن تكون برامجنا لتكوين المقيمين بطريقتة تمكنا من إنجاز العمليات تمارار او تكرار او ذلكمناجلتهيي  
نالأطباءالمقيمين بطريقتة أمثل للقيام بالعمليات الجراحية المعقدة



# BIBLIOGRAPHIE



1. **Jacobson HH, Suarez EL.**  
Microsurgery in anastomosis of small vessels. *Surg Forum.* 1970; 11:243-51. [Google Scholar]
2. **Leclère FM, Duquennoy-Martinot V, Schoofs M, Buys B, Mordon S et al .**  
Thirty years of laser-assisted microvascular anastomosis (LAMA): What are the clinical perspectives? *Neurochirurgie.* 2011; 57:1-8.
3. **Carrel A,** La technique opératoire des anastomoses vasculaires et la transplantation des viscères. *Lyon Med* 1902; 98:859-63.
4. **Carrel A.** The transplantation of organs: a preliminary communication 1905 [classical article]. *Yale J Biol Med* 2001; 74:239-41.
5. **Carrel A, Guthrie C.** Functions of a transplanted kidney. *Science* 1905; 22:473.
6. **Nylen**  
CO. The microscope in aural surgery, its first use and later development. *Acta Otolaryngol Suppl* 1954 ;116 :226-40.
7. **Kriss TC, Kriss VM.** History of the operating microscope: from magnifying glass to microneurosurgery. *Neurosurgery* 1998; 42:899-907 [discussion-8].
8. **Holmgren G.** Some experiences in surgery of otosclerosis. *Acta Otolaryngol* 1923; 5:460-6.
9. **Doft MA, Widmann WD, Hardy MA.** Under a microscope: Julius H. Jacobson MD (1927). *J Surg Educ* 2008; 65:316-9.
10. **Taylor GI.** The inaugural Harry Buncke lecture: "The anatomical renaissance". *Microsurgery* 2008; 28:586-96.
11. **Buncke Jr HJ, Schulz WP.** Total ear reimplantation in the rabbit utilizing microminiature vascular anastomoses. *Br J Plast Surg* 1966; 19:15-22.
12. **Malt RA, McKhann C.**  
Replantation of severed arms. *JAMA* 1964; 189:716-22.
13. **Chen CW, Chien YC, Pao YS.**  
Salvage of the forearm following complete traumatic amputation: report of a case. *Chin Med J(Engl)* 1963; 82:633-8.
14. **Komatsu S, Tamai S.**  
Successful replantation of a completely cut-off thumb. *Plast Reconstr Surg* 1968; 42:374-7.
15. **Buncke Jr HJ, Schulz WP.** Experimental digital amputation and reimplantation. *Plast Reconstr Surg* 1965; 36:62-70.
16. **Buncke Jr HJ, Buncke CM, Schulz WP.** Immediate Nicoladoni procedure in the Rhesus monkey, or hallux-to-hand transplantation, utilizing microminiature vascular anastomoses. *Br J Plast Surg* 1966; 19:332-7.
17. **Cobbett JR.** Free digital transfer report of a case of transfer of a great toe to replace an amputated thumb. *J Bone Joint Surg Br* 1969; 51:677-9.
18. **McGregor IA, Jackson IT.** The groin flap. *Br J Plast Surg* 1972; 25:3-16.
19. **Taylor GI, Miller GD, Ham FJ.** The free vascularized bone graft. A clinical extension of microvascular techniques. *Plast Reconstr Surg* 1975; 55:533-44.
20. **Hidalgo DA.** Fibula free flap: a new method of mandible reconstruction. *Plast Reconstr Surg*

1989; 84:71—9.

21. **Murray J, Merrill J, Harrison J.** Renal homotransplantation in identical twins. *Surg Forum* 1955; 6:432—6.
22. **Dubernard JM, Owen E, Herzberg G, et al.** Human hand allograft: report on first 6 months. *Lancet* 1999;353:1315—1320.
23. **Raherinantenaina F, Randriantsoa MP, Rabemanantsoa R, Rakoto Ratsimba HN, Rajaonahary TMA, et al .**  
Combined injuries to the radial and ulnar arteries of the forearm. *J Med Vasc* 2020; 45: 228–31.
24. **Magalon G, Sassoon D, Pélissier JF, Bardot J.**  
Anatomie chirurgicale du nerf sural. In: Alnot JY, Narakas AO, eds. *Les paralysies du plexus brachial*. Paris: Expansion Scientifique Française; 1995. p. 23–4.
25. **Bonnel F.**  
Le nerf périphérique: généralités. In: Bonnel F, Mansat M, éd. *Nerfs périphériques. Anatomie et pathologie chirurgicale*. Paris: Masson; 1990. p. 1–19.
26. **Loy S, Bhatia A, Asfazadourian H, Oberlin C.**  
Transferts de fascicules du nerf ulnaire sur le nerf du muscle biceps dans les avulsions C5 C6 ou C5 C6 C7 du plexus brachial. À propos de 18 cas. *Ann Chir Main* 1997; 16 (4): 275–84.
27. **Millesi H.**  
The gliding apparatus of peripheral nerve and its clinical significance. *Ann Chir Main* 1990; 9 (2): 87–97.
28. **Millesi H, Eberhard D.**  
L'appareil de glissement du nerf périphérique et sa signification clinique. In: Alnot JY, éd. *Lésions traumatiques des nerfs périphériques*. Paris: Expansion Scientifique Publications; 1997. p. 12–5.
29. **BENFRECH E., ALNOT J.Y., HENIN D. -**  
Etude expérimentale des sutures et greffes nerveuses de nerf sciatique chez le rat par fibrino-collage. *Ann. Chir. Main*, 1989, 8 (4): 296–299.
  
30. **GILBERT A.**  
- Colle biologique : arguments expérimentaux et cliniques. *Ann. Chir. Main*, 1989, 8 (4), 299–301.
31. **Shapiro RI, Cerra FB. A**  
model for reimplantation and transplantation of a complex organ: the rat hind limb. *J Surg Res* 1978;24(6):501–6.
32. **Hiotis SP, Wnuk KL, Blumenthals WA, Halaris SA, Good RA, et al .**  
Orthotopic hindlimb transplantation in the rat: a technically challenging but useful animal model for solid organ engraftment. *Transplant Proc* 1999;31(3): 1567–8.

- 33. Rothschild JM, Keohane CA, Rogers S, Gardner R, Lipsitz SR, Salzberg CA, et al.**  
Risks of complications by attending physicians after performing nighttime pro- cedures. *JAMA* 2009;302(14):1565-72.
- 34. Dinichert A.**  
Rat model for extracranial-intracranial bypass training. *Neurochi- rurgie* 2007;53(4):312-5.
- 35. Dotson RJ, Bishop AT, Wood MB, Schroeder A.**  
End-to-end versus end-to- side arterial anastomosis patency in microvascular surgery. *Mi- crosurgery* 1998;18(2):125-8.
- 36. Pichierri A, Frati A, Santoro A, Lenzi J, Delfini R, Pannarale L, et al.**  
How to set up a microsurgical laboratory on small animal models: organiza- tion, tech- ni- ques, and impact on residency training. *Neurosurg Rev* 2009;32(1):101-10 [discussion 10].
- 37. Habal SM, Fitzpatrick HF, Green GE.**  
Training in microvascular surgery. *Surgery.* 1977;81:596-8. PMID: 850876.
- 38. Lee S, Diez-Pardo J, Olszewski W, Rowinski W, Hirner A, Brekke I, Swedenborg J, Flatmark U, Häring A, Nylander G, Orloff MJ.et al .**  
An improved microsurgical course for a mixed group of surgeons. *World J Surg.*1981;5:285-94. PMID: 7245798.
- 39. Bekesi L, Miko I, Varga S, Furka I.**  
Can a medical student be motivated to study microsurgery? *Acta ChirAustr.* 1994;26:17-8
- 40. Furka I, Mikó I, Brath E.**  
Teaching microsurgery at the University Medical School of Debrecen, Hungary. Abstract Book of the 4th Congress of the International Society for Experimental Microsurgery, Lon- don/Ontario Canada, 1998.
- 41. Di Cataldo A, Puleo S, Rodolico G.**  
Three microsurgical courses in Catania. *Microsurgery.* 1998;18:449-53. PMID: 9888348
- 42. Miko I, Brath E, Furka I.**  
Basic teaching in microsurgery. *Microsurgery.* 2001;21:121-3. PMID: 11494375
- 43. Klein I, Steger U, Timmermann W, Thiede A, Gassel HJ.**  
Microsurgical training course for clinicians and scientists at a German University hospital: a 10-year experience. *Microsurgery.* 2003;23:461-5. PMID: 14558003
  
- 44. Uson-Gargallo J, Viguera-Salvago FJ, Calles-Vazquez C.**  
Interactive advancedcommunicationmultistation system for microsurgical training. *Microsur- gery.* 2004;24:218-22. PMID: 15160381
- 45. Furka I, Brath E, Nemeth N, Miko I.**  
Learning microsurgical suturing and knotting techniques: comparative data. *Microsurgery.* 2006;26:4-7. PMID: 16444711
- 46. Furka I, Brath E, Nemeth N, Miko I.**



Gondolatok a mikrosebészetioktatásról. Mire volt elégaz 5460 óra a mikrosebészetalapoktatásban? [Conceptions about microsurgical education. What were 5,460 hours of microsurgical basic education enough for?]. *Magy Seb.*2006;59:147–51. PMID: 16937788

**47. Blidisel A, Jiga L, Nistor A, Dornean V, Hoinoiu B, Ionac M.et al .**

Video-assisted versus conventional microsurgical training: a comparative study in the rat model. *Microsurgery.*2007;27:446–50. PMID: 17603812

**48. Chan WY, Matteucci P, Southern SJ.**

Validation of microsurgical models in microsurgery training and competence: a review. *Microsurgery.* 2007;27:494–9. PMID: 17596849

**49. Martins PN, Montero EF.**

Basic microsurgery training: comments and proposal. *Acta Cir Bras.* 2007;22:79–81. PMID: 17293955

**50. Ramachandran S, Chui CH, Tan BK.**

The chicken aorta as a simulation–training model for microvascular surgery training. *Plast Surg.* 2013;40:327–9. PMID: 23898426

**51. Furka I, Miko I.**

Mikrosebészetalapismeretek [Introduction to microsurgery]. 2nd enlarged edition. Debrecen: Debrecen University Press; 2011.

**52. Nemeth N, Furka I, Miko I.**

Educational and research activity of the Department of Operative Techniques and Surgical Research, Institute of Surgery at the Medical and Health Science Center, University of Debrecen in Hungary. *Acta Cir Bras.*2013;28:403–6. PMID: 23702945.

**53. Nemeth N.**

Posztgraduálmikrosebészeti gyakorlati kurzusok szervezési és oktatásmarketing vonatkozásai. [Organizational end education marketing relations of postgradual microsurgical training courses]. MBA graduation thesis. University of Debrecen; 2013.

**54. Javid P, Aydın A, Mohanna PN,**

Current status of simulation and training models in microsurgery: a systematic review. *Microsurgery.* 2019;39:655–668.

**55. Chan WY, Matteucci P, Southern SJ.**

Validation of microsurgical models in microsurgery training and competence: a review. *Microsurgery.* 2007;27:494–499.

**56. Pruniè resGJ, Taleb C, Hendriks S,**

Use of the Konnyaku Shirataki noodle as a low delity simulation training model for microvascular surgery in the operating theatre. *Chir Main.* 2014;33:106–111.

**57. Cooper L, Sindali K, Srinivasan K,**

Developing a three– layered synthetic microsurgical simulation vessel. *J ReconstrMicrosurg.* 2019;35:15–21.

**58. Brosious JP, Kleban SR, Goldman JJ,**

Ahead of the curve: tracking progress in novice microsurgeons. *J Reconstr Microsurg.* 2019;35:216–220.

**59. Weber D, Moser N, Rösslein R**

A synthetic model for microsurgical training: a surgical contribution to reduce the number of animal experiments. *Eur J Pediatr Surg.* 1997;7:204–206.

**60. Remie R.**

The PVC-rat and other alternatives in microsurgical training. *Lab Anim (NY).* 2001;30:48–52.

**61. Gul BU, Yanilmaz DK, Arslan D,**

Silicone-based simulation models for peripheral nerve microsurgery. *J Plast Reconstr Aesthet Surg.* 2019;72:477–483.

**62. Creighton FX, Feng AL, Goyal N,**

Chicken thigh microvascular training model improves resident surgical skills. *Laryngoscope Invest Otolaryngol.* 2017;2:471–474.

**63. Schoeff S, Hernandez B, Robinson DJ,**

Microvascular anastomosis simulation using a chicken thigh model: interval versus massed training. *Laryngoscope.* 2017;127:2490–2494.

**64. Patanis G, Serran Y, Raveendran M,**

The chicken thigh adductor profundus free muscle flap: a novel validated non-living microsurgery simulation training model. *Arch Plast Surg.* 2017;44:293–300.

**65. Jeong HS, Moon MS, Kim HS,**

Microsurgical training with fresh chicken legs. *Ann Plast Surg.* 2013;70:57–61.

**66. Jusue-Torres I, Sivakanthan S, Pinheiro-Neto CD,**

Chicken wing training model for endoscopic microsurgery. *J Neurol Surg B Skull Base.* 2013;74:286–291.

**67. Steffens K, Witthaut J, Koob E.**

Microsurgical training using pig legs. *Eur J Plast Surg.* 1996;19:42–44.

**68. Hong JW, Kim YS, Lee WJ,**

Evaluation of the efficacy of microsurgical practice through time factor added protocol: microsurgical training using nonvital material. *J Craniofac Surg.* 2010;21:876–881.

**69. Nam SM, Shin HS, Kim YB,**

Microsurgical training with porcine thigh inflexion model. *J Reconstr Microsurg.* 2013;29:303–306.

**70. Banda CH, Mitsui K, Ishiura R,**

A supermicrosurgery pig foot training model for practice of lymphaticovenular anastomosis. *Microsurgery.* 2020;40:91–92.

**71. Lausada NR, Escudero E, Lamonega R,**

Use of cryopreserved rat arteries for microsurgical training. *Microsurgery.* 2005;25:500–501.

**72. Ulvan O. MicroNEU:**

a new novel dynamic non-living microsurgical model. *Life Int J Health Life Sci.* 2016;2:41-45.

**73. Shulzhenko NO, Zeng W, Albano NJ,**

Multispecialty microsurgical course utilizing the blue-blood chicken thigh model significantly improves resident comfort, confidence, and attitudes in multiple domains. *J Reconstr Microsurg.* 2020;36:142-150.

**74. Rodríguez A, Alvarez A, Aguirrezabalaga J,**

The anteromedial thigh flap as a training model of a perforator flap in rat. *J Reconstr Microsurg.* 2007;23:251-255.

**75. Leclère FM, Rieben R, Lewbart GA, Vögelin E**

Microsurgery and liver research: *Lumbricus terrestris*, a reliable animal model for training? *Clin Res Hepatol Gastroenterol* 2013;37:166-70.

**76. Leclère FM, Trelles M, Lewbart GA, Vögelin E**

Is there good simulation basic training for end-to-side vascular microanastomoses? *Aesthetic Plast Surg* 2013;37:454-8.

**77. Carey JN, Rommer E, Shekter C,**

Simulation of plastic surgery and microvascular procedures using perfused fresh human cadavers. *J Plast Reconstr Aesthet Surg.* 2014;67:e42-e48.

**78. Rayan N, O'Donoghue DL, Rayan G.**

The use of cadaver tissue in advanced microsurgical training. *J Okla State Med Assoc.* 2010;103:365-368.

**79. Chouari TAM, Lindsay K, Bradshaw E,**

An enhanced fresh cadaveric model for reconstructive microsurgery training. *Eur J Plast Surg.* 2018;41:439-446.

**80. Sosin M, Ceradini DJ, Hazen A, et al. Total**

face, eyelids, ears, scalp, and skeletal subunit transplant cadaver simulation: the culmination of aesthetic, craniofacial, and microsurgery principles. *Plast Reconstr Surg.* 2016;137:1569-1581.

**81. Okda, M., Shimizu, K., Ikuta, H., Horii, H., Nakamura, K.**

, 1987. An alternative method of vascular anastomosis by laser: experimental and clinical study. *Laser Surg. Med.* 3, 240-248.

**82. Godlewski, G., Rouy, S., Pradal, P., Dauszat, M.,**

1986a. Argon laser and microarterial soldering. *J. Chir.* 123, 347-351.

**83. Schober, R., Ulrich, F., Sander, T.,**

1986. Laser induced alteration of collagen structures allows microsurgical welding. *Science* 232, 1421-1422.

**84. Mordon, S., Martinot, V., Mitchell, V., 1995.**

End-to-end anastomoses with a 1.9 m diode laser. *J. Clin. Laser Med. Surg.* 13, 357-361.

**85. Puca, A., Esposito, G., Albanese, A., Maira, G., Rossi, F., Pini, R., et al .**

2009. Minimally occlusive laser vascular anastomosis (MOLVA): experimental study. *Acta Neurochir.* 151,363-368.

**86. Mordon, S., Schoofs, M., Martinot, V., Buys, B., Patenotre, P., Lesage, J.C., et al.,**

2001. 1.9 m diode laser assisted anastomoses in reconstructive microsurgery: preliminary results in 12 patients. In: Delacretaz, G. (Ed.), *Laser Tissue Interaction, Tissue Optics & Laser Welding*, 3195. SPIE, Bellingham, pp.2-8.

**87. Leclère, F.M.P., Schoofs, M., Buys, B., Mordon, S., et al .**

2010b. Outcomes after 1.9 m diode laser assisted anastomoses in reconstructive microsurgery: results in 27 patients. *Plast. Reconstr. Surg.* 125(4),1167-1175.

**88. Leclère, F.M.P., Schoofs, M., Auger, F., Buys, B., Mordon, S.R., et al .**

2010c. Blood flow assessment with magnetic resonance imaging after 1.9 microm diode laser-assisted microvascular anastomosis. *Lasers Surg. Med.* 42(54),299-305.

Leclère, F.M.P., Schoofs, M., Auger, F., Buys, B., Mordon, S., 2010d. Evaluation du flux sanguin par imagerie en résonance magnétique fonctionnelle après anastomoses artérielles assistées par laser diode 1,9m. *Ann. Chir. Plast. Esthet.* (Epub en cours).

**89. Wolf-de Jonge, I.C., Beek, J.F., Balm, R.,**

2004. 25 years of laser assisted vascular anastomosis (LAVA): what have we learned? *Eur. J. Vasc. Endovasc. Surg.* 27, 466-476.

**90. Capon, A., Iarmarcovai, G., Gonnelli, D., Degardin, N., Magalon, G., Mordon, S., et al .**

2010. Scar prevention using laser-assisted skin healing (LASH) in plastic surgery. *Aesthetic Plast. Surg.* 2010;34(4):438-46[Epub 2010 Jan 28].



## قسم الطبيب

### أقسامِ الله العَظيم

أنار اقباله في هنتي.

وأنصون حياة الإنسان في كافة أطوارها في كل الظروف

والأحوال الباذلة وسعيفيانقاذها من الهلاك والمرض

والألم والقلق.

وأنحفظ للناس كرامتهم، وأستر عورتهم، وأكتم سرهم.

وأنأكون نعل بالدوامنوسائر رحمة الله،

بإذلة عايتي الطبية للقريبو البعيد، للصالحو الطالح، والصديقو العدو.

وأنأثبر على طلب العلم، وأسخر هلىفعالإنسانالأداء.

وأنأوقر من علمني، وأعلم مني صغري، وأكون أخ الكثر ملىالمهنة الطبية

متعاونينعلى البر والتقوى.

وأنتكون حياتي صدقاً يمانى في سريو علانيتي،

نقية مما يشينها تجاهالهورسؤل هوالمؤمنين.

والله علما أقول شهيد

أطروحة رقم 249

سنة 2023

# نجاحة برنامج من ثلاث خطوات في تعلم الجراحة المجهرية للأطباء المقيمين في جراحة العظام و المفاصل

## الأطروحة

قدمت ونوقشت علانية يوم 07/07/2023

من طرف

**السيدة شيماء السوسي**

المزدادة في 18 يونيو 1997 بالرباط  
طبيبة داخلية سابقا بالمستشفى الجامعي سوسماسة  
لنيل شهادة الدكتوراه في الطب

**الكلمات الأساسية:**

الجراحة المجهرية – التعلم – المحاكاة

## اللجنة

الرئيس

ح.هوري

السيدة

أستاذة في طب العظام و المفاصل

المشرف

ك.رفيقي

السيد

أستاذ في طب العظام و المفاصل

ر.شفيق

السيد

أستاذ في طب العظام و المفاصل

م.أ.بنهيم

السيد

أستاذ في طب العظام و المفاصل

م.العمراني

السيد

أستاذ في جراحة التجميل

الحكام

