



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

Année 2023

Thèse N°225

# Intérêt de la simulation en réalité virtuelle dans l'apprentissage de l'arthroscopie au Maroc

---

## THESE

PRESENTEE ET SOUTENUE PUBLIQUEMENT LE 16/06/2023

PAR

**Mlle. Neimah MABCHOUR**

Née le 25 Octobre 1995 à Casablanca Anfa

POUR L'OBTENTION DU DOCTORAT EN MEDECINE

---

## MOTS-CLES :

Apprentissage - Arthroscopie - Réalité virtuelle - Simulation

---

## JURY

**M. I. ABKARI**  
Professeur de Traumatologie-orthopédie

PRESIDENT

**M. M. A. BENHIMA**  
Professeur de Traumatologie-orthopédie

RAPPORTEUR

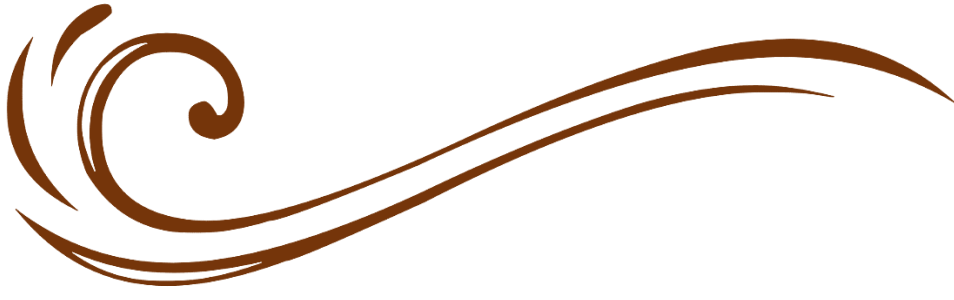
**Mme. H. EL HAOURY**  
Professeur de Traumatologie-orthopédie

**M. O. MARGAD**  
Professeur de Traumatologie-orthopédie

JUGES

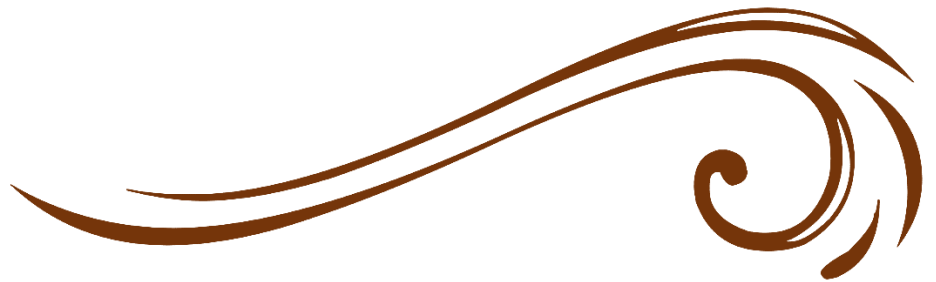


سورة كه الآية 114



رَأَيْتُ رَبِّي بِعَيْنِي قَلْبِي  
فَلَيْسَ لِلْأَيْنِ مِنْدًا أَيْنٌ  
وَلَيْسَ لِلْوَهْمِ مِنْدًا وَهْمٌ  
أَنْتَ الَّذِي حَزَّتْ كُلُّ أَيْنٍ  
فَقِي فَنَائِي فَنَا فَنَائِي  
فِي مَحْوِ اسْمِي وَرَسْمِ جِسْمِي  
أَشْمَلُ سِرِّي إِلَيْكَ حَتَّى  
أَنْتَ حَيَاتِي وَسِرُّ قَلْبِي  
أَحْصَيْتَ عِلْمًا بِكُلِّ شَيْءٍ  
فَمَنْ بِالْعَفْوِ يَا إِلَهِي

فَقُلْتُ مَنْ أَنْتَ قَالَ أَنْتَ  
وَلَيْسَ أَيْنٌ بِحَيْثُ أَنْتَ  
فَيَعْلَمُ الْوَهْمُ أَيْنَ أَنْتَ  
بِنَحْوِ لَا أَيْنَ فَأَيْنَ أَنْتَ  
وَفِي فَنَائِي وَجِدَّتْ أَنْتَ  
سَأَلْتُ عَنِّي فَقُلْتُ أَنْتَ  
فَنَيْتُ عَنِّي وَكُذِمْتَ أَنْتَ  
فَحَيْثُمَا كُنْتُ كُنْتَ أَنْتَ  
فَكُلُّ شَيْءٍ أَرَاهُ أَنْتَ  
فَلَيْسَ أَرْجُو سِوَاكَ أَنْتَ





*Ser*

## *ment 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.*

**Déclaratio**

**n 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	ATMANEE 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
ABOUSSAIR 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
AGHOUTANEE Mouhtadi	Chirurgie pédiatrique	BENCHAMKHAY Assine	Chirurgie réparatrice et plastique
AISSAOUI Younes	Anesthésie-réanimation	BENELKHAIIAT 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-SABImane	Pédiatrie	BOUCHENTOUFRachid	Pneumo-phtisiologie
ALJSoumaya	Radiologie	BOUKHANNILahcen	Gynécologieobstétrique
AMALSaid	Dermatologie	BOUKHIRAAbderrahman	Biochimie-chimie
AMINEMohamed	Epidémiologie clinique	BOUMZEBRADrissi	Chirurgie Cardio-vasculaire
AMMARHaddou	Oto-rhino-laryngologie	BOURRAHOUATAicha	Pédiatrie
AMROLamyae	Pneumo-phtisiologie	BOURROUS Monir	Pédiatrie
ANIBAKhalid	Neurochirurgie	BOUSKRAOUMohammed	Pédiatrie
ARSALANELamiae	Microbiologie-virologie	BSISSMohammedAziz	Biophysique
ASMOUKIHamid	Gynécologie-obstétrique	CHAFIKRachid	Traumato-orthopédie
CHAKOURMohammed	Hématologiebiologique	HAZMIRIFatimaEzzahra	Histologie-embryologiecytogénétique
CHELLAKSaliha	Biochimie-chimie	HOCAROuafa	Dermatologie
CHERIFIDRISSIELGANOUNI Najat	Radiologie	JALALHicham	Radiologie
CHOULLIMohamedKhaled	Neuropharmacologie	KADDOURISaid	Médecineinterne
CHRAAMohamed	Physiologie	KAMILIEIOuafiEIAouni	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 maladiesmétaboliques	KRIETMohamed	Ophtalmologie
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
ELHATTAOUMustapha	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	Parasitologiemycologie	MLIHATOUATIMohammed	Oto-rhino-laryngologie
ELMGHARITABIBGhizlane	Endocrinologieetmaladiesmétaboliques	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-embryologiecytogénétique	NARJISYoussef	Chirurgiegénérale
FOURAJIKarima	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	QAMOussyoussef	Anesthésieréanimation
RABBANIKhalid	Chirurgiegénérale	TAZIMohamedIllias	Hématologieclinique
RADANoureddine	Pédiatrie	TOURABIKhalid	Chirurgieréparatrice etplastique
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

SERGHINI Issam	Anesthésie-réanimation	ZIDANE Moulay Abdelfettah	Chirurgie thoracique
SORAANA Nabila	Microbiologie-virologie	ZOUHAIR Said	Microbiologie
SOUMMANI Abderraouf	Gynécologie-obstétrique	ZYANI Mohammad	Médecine interne
TASSI Noura	Maladies infectieuses		

### Professeurs Habilités (PH)

Nom et Prénom	Spécialité	Nom et Prénom	Spécialité
FDIL Naima	Chimie de coordination bio-organique	GEBRATI Houcine	Chimie
LOQMANSouad	Microbiologie et toxicologie environnementale		

### Professeurs Agrégés

Nom et Prénom	Spécialité	Nom et Prénom	Spécialité
ABDEL FETTAH Youness	Rééducation et réhabilitation fonctionnelle	HAJJI Fouad	Urologie
ABDOU Abdessamad	Chirurgie Cardio-vasculaire	HAMMOUNE Nabil	Radiologie
AKKAR Rachid	Gastro-entérologie	JALLAL Hamid	Cardiologie
ALJALIL Abdelfattah	Oto-rhino-laryngologie	JANAHI Hicham	Pneumo-phtisiologie
ARABI Hafid	Médecine physique et réadaptation fonctionnelle	LAFFINTI Mahmoud Amine	Psychiatrie
ARSALANE Adil	Chirurgie thoracique	MAOUJOU Omar	Néphrologie
ASSERRAJI Mohammed	Néphrologie	MESSAOUDI Redouane	Ophthalmologie
BAALLAL Hassan	Neurochirurgie	MILOUDI Mouhcine	Microbiologie-virologie
BABA Hicham	Chirurgie générale	NADER Yousef	Traumatologie-orthopédie
BAKZAZA Oualid	Chirurgie Vasculaire périphérique	NASSIMSABAHTaoufik	Chirurgie réparatrice et plastique
BELFQUIH Hatim	Neurochirurgie	OUMERZOUK Jawad	Neurologie
BELGHMAIDI Sarah	Ophthalmologie	RAISSI Abderrahim	Hématologie clinique
BELHADJ Ayoub	Anesthésie-réanimation	REBAHI Houssam	Anesthésie-réanimation
BELLASRI Salah	Radiologie	RHARRASSI Issam	Anatomie-pathologique
BENNAOUI Fatiha	Pédiatrie	SEBBANI Majda	Médecine Communautaire (Médecine préventive, santé publique et hygiène)

BOUZERDAAbdelmajid	Cardiologie	SEDDIKIRachid	Anesthésie-réanimation
EL-AKHIRIMohammed	Oto-rhino-laryngologie	SIRBOURachid	Médecine d'urgence et decatastrophe
ELBAZMeriem	Pédiatrie	ZBITOUMohamedAnas	Cardiologie
ESSADIsmail	Oncologiemédicale	ZOUIZRAZahira	Chirurgie Cardio-vasculaire
FENANEHicham	Chirurgiethoracique		

## Professeurs Assistants

NometPrénom	Spécialité	NometPrénom	Spécialité
AABBASSIBouchra	Pédopsychiatrie	DAMIAbdallah	MédecineLégale
ABALLANajoua	Chirurgiepédiatrique	DARFAOUIMouna	Radiothérapie
ABOUDOURIBMaryem	Dermatologie	DOUIREKFouzia	Anesthésie-réanimation
ABOULMAKARIMSiham	Biochimie	DOULHOUSNEHassan	Radiologie
ACHKOUNAbdessalam	Anatomie	ELAMIRIMyAhmed	ChimiedeCoordinationbio-organique
AHBALATariq	Chirurgiegénérale	ELFADLIMohammed	Oncologiemédicale
AITERRAMIAdil	Gastro-entérologie	ELFAKIRIKarima	Pédiatrie
AITLHAJEIHoussaine	Ophtalmologie	ELGAMRANIYounes	Gastro-entérologie
AMINEAbdellah	Cardiologie	ELHAJJAMIAYoub	Radiologie
ARROBAdil	Chirurgieréparatrice etplastique	ELHAKKOUNIAwatif	Parasitologiemycologie
AZAMIMohamedAmine	Anatomiepathologique	ELHAMDAOUIOmar	Toxicologie
AZIZZakaria	Stomatologie et chirurgie maxillo-faciale	ELJADIHamza	Endocrinologie et maladiesmétaboliques
AZIZIMounia	Néphrologie	ELKHASSOUIAmine	Chirurgiepédiatrique
BELARBIMarouane	Néphrologie	ELMOUHAFIDFaisal	Chirurgiegénérale
BENAMEUR Yassir	Médecinenucléaire	ELATIQUIoumkeltoum	Chirurgieréparatrice etplastique
BENANTARLamia	Neurochirurgie	ELJAMILIMohammed	Cardiologie
BENCHAFAllias	Oto-rhino-laryngologie	ELOUARDIYoussef	Anesthésie-réanimation
BENYASSYoussef	Traumato-orthopédie	EL-QADIRYRabiy	Pédiatrie
BENZALIMMeriam	Radiologie	ESSAFTIMeryem	Anesthésie-réanimation
BOUHAMIDIAhmed	Dermatologie	FASSIFIHRIMohamedjawad	Chirurgiegénérale
BOUMEDIANEEIMehdi	Traumato-orthopédie	FIKRIOussama	Pneumo-phtisiologie
BOUTAKIOUTEBadr	Radiologie	HAJHOUIFarouk	Neurochirurgie

CHEGGOURMouna	Biochimie	HAMRIAsma	ChirurgieGénérale
CHETOUIAbdelkhalek	Cardiologie	HAZIMERaja	Immunologie
CHETTATIMariam	Néphrologie	IDALENEMalika	Maladies infectieuses
JEBRANEIham	Pharmacologie	RAMRAOUIMohammed-Es-said	Chirurgie générale
KHALLIKANESaid	Anesthésie-réanimation	RHEZALIManal	Anesthésie-réanimation
LACHHABZineb	Pharmacognosie	ROUKHSIRedouane	Radiologie
LAHLIMIFatimaEzzahra	Hématologieclinique	SAHRAOUIHoussamEddine	Anesthésie-réanimation
LAHMINIWidad	Pédiatrie	SALLAHIHicham	Traumatologie-orthopédie
LAKHDARYoussef	Oto-rhino-laryngologie	SAYAGHSanae	Hématologie
LALAOUIAbdessamad	Pédiatrie	SBAAIMohammed	Parasitologie-mycologie
LAMRANIHANCHIASmae	Microbiologie-virologie	SBAIASma	Informatique
LGHABIMajida	MédecineduTravail	SLIOUIBadr	Radiologie
MEFTAHAzzelarab	Endocrinologie et maladiesmétaboliques	WARDAKarima	Microbiologie
MOUGUIAhmed	Rhumatologie	YAHYAOUIHicham	Hématologie
MOULINESouhail	Microbiologie-virologie	YANISSESiham	Pharmacie galénique
NASSIHHouda	Pédiatrie	ZIRAOUIOualid	Chimiéthérapeutique
RACHIDIHind	Anatomiepathologique	ZOUITABtissam	Radiologie
RAFISana	Endocrinologie et maladiesmétaboliques		

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



# *Dédicaces*



## *A mes chers parents,*

*Votre amour inconditionnel a été ma source d'inspiration constante et ma force motrice. Quelles que soient les circonstances, vous avez été là à m'encourager, me soutenir et me guider.*

*Votre confiance en moi m'a donné le courage de poursuivre mes rêves même quand je doutais de moi-même. Vous m'avez appris que chaque échec est une occasion d'apprendre, de grandir et de devenir plus fort. Grace à vous j'ai appris à transformer les revers en leçons précieuses et à persévérer avec courage et détermination*

*Je vous dédie ce travail en témoignage de mon amour et ma gratitude éternelles pour tous ce que vous avez fait pour moi.*

## *A ma chère maman, Rabia EDDAMMOUDI,*

*Il n'y a pas de mots assez forts pour exprimer à quel point je suis reconnaissante et fière de t'avoir comme mère.*

*Tu as toujours été là pour moi. Que ce soit pour me consoler dans les moments de chagrin, partager mes joies les plus grandes ou simplement être présente pour écouter mes pensées les plus profondes.*

*Les sacrifices que tu as consentis pour moi ne passeront jamais inaperçus.*

*Maman, je t'aime et je t'admire pour ta force, ta bienveillance et ta générosité. Merci d'avoir fait de moi la personne que je suis aujourd'hui*

## *A mon cher papa, Dr. Mohamed MABCHOUR,*

*Tu as été mon guide, mon mentor et mon meilleur ami, tu m'as appris tant de choses précieuses, bien au-delà que les livres peuvent enseigner. Tu m'as montré la valeur du travail acharné, de la persévérance et de l'intégrité. Ta présence constante, ta patience et ton amour conditionnel ont été une source de motivation pour moi.*

*Tu m'as ouvert les portes du monde fascinant de la médecine, et tu m'as enseigné les valeurs de compassion et les sacrifices à faire pour devenir un médecin compétent et attentionné. Ton expérience et ta sagesse m'ont aidé à forger une vision claire de ma vocation.*

*Je suis fière de te voir exercer cette noble profession avec tant de compassion et de dévouement*

*Papa, je t'aime et je te serai éternellement reconnaissante. Merci d'être un père extraordinaire et un guide précieux dans ma vie.*

## *A mon frère bien-aimé*

*Depuis notre enfance tu as été mon compagnon de jeu, mon confident et mon plus grand supporter. Tu as toujours été là pour m'encourager, me motiver et croire en moi, même dans les moments les plus difficiles. Malgré ton jeune âge tu as montré une sagesse bien au-delà de ton âge.*

*Tu as su prendre des responsabilités et faire preuve d'une grande maturité, apportant une contribution précieuse à notre famille et à nos vies.*

*Je suis si reconnaissante et fière de t'avoir comme frère. Les liens qui nous unissent sont forts, et précieux, et je chéris chaque moment que nous passons ensemble*

*Anas, je t'aime et je te remercie du fond du cœur pour ton soutien et les encouragements constants que tu me prodigues.*

*Je t'encourage à poursuivre tes propres rêves avec la même détermination et le même enthousiasme que tu m'as toujours témoigné. Saches que je serai toujours là pour toi, pour t'encourager, te soutenir et célébrer tes réussites.*

## *A ma grand-mère, Hbibtí Fatíma*

*Je tiens à te dédier ces mots emplis d'amour et de gratitude pour tous ce que tu as été pour moi. Depuis mon enfance, tu m'as comblé de ta tendresse, de ton affection et de ta générosité.*

*Chaque fois que je me plonge dans mes souvenirs d'enfance, ton visage souriant et aimant apparaît toujours en premier plan*

*Je te remercie du fond du cœur pour tout ce que tu as fait pour moi.*

## *A toute la famille Eddammoudí, à toute la famille*

### *Mabchour,*

*Je vous dédie ce travail en témoignage de ma grande reconnaissance pour tous les moments que nous avons partagés ensemble*

## ***A ma chère amie Dr. Fatima-Ezzahraa Machrou,***

*Tu es cette personne en qui j'ai placé ma confiance, avec qui j'ai partagé des moments fous et qui est devenue une part essentielle de ma vie.*

*Dès notre première rencontre, notre complicité s'est instantanément installée et nous avons rapidement compris que nous étions sur la même longueur d'onde. Tu es cette amie précieuse avec qui je peux être moi-même sans masque ni artifice.*

*Nous avons partagé des moments fous, des aventures inoubliables qui ont remplis nos vies de rires, de joies et d'excitation. Les souvenirs de ces instants resteront gravés dans nos cœurs pour toujours.*

*Ta présence bienveillante et ta capacité à comprendre mes pensées les plus profondes font de toi une amie incomparable.*

*Avec tout mon amour, merci d'être cette amie extraordinaire à qui je peux me confier, puissions-nous continuer à cultiver notre amitié, à nous soutenir mutuellement et à partager encore de nombreux moments fous, remplis de rires et de bonheur.*

## ***A ma chère amie Dr. Nouha KRIZI,***

*Il y a des moments dans la vie qui restent gravés dans notre mémoire, scellant à jamais leur empreinte sur notre cœur. Les souvenirs que nous avons partagés ensemble font partie de ces instants précieux qui illuminent notre existence. Aujourd'hui, je tiens à rendre hommage à notre amitié et à tous ces moments inoubliables.*

*Merci d'avoir partagé ces moments inoubliables à mes côtés. Que notre amitié perdure et continue de nous enrichir, jour après jour.*

## ***A ma chère amie de longue date, Yasmine Adaïf,***

*Notre amitié a débuté bien avant que nos chemins nous mènent vers la médecine. Nous avons connu des expériences communes, des fous rires et des souvenirs précieux qui ont forgé les fondations de notre amitié. Nous nous comprenons au-delà des mots. Nous connaissons les hauts et les bas de ce parcours, les sacrifices que nous avons consentis, mais aussi les réussites que nous avons célébrées ensemble. Nous sommes témoins de l'évolution de l'autre, de nos progrès et de notre engagement envers notre vocation.*

*Cette dédicace est un témoignage de mon amour et de ma gratitude envers toi, merci d'avoir partagé cette aventure avec moi. Que notre amitié continue de s'épanouir, de grandir et de nous soutenir mutuellement dans les moments à venir.*



## *A mes chers(es) amis(es),*

*Hajar LADNANY, Hafsa LAYOUNE, Meryem KRAIM, Chaïma LAMGHARI, Reda LRHAZOULI, Saad MAZOUNI, Oumaïma MOUATE, Sara MANFALOUTI, Nadia LASRI, Hajar LAMHAMDI...*

*à tous les moments qu'on a passé ensemble à la fac, à l'hôpital et ailleurs. Vous êtes les compagnons de route qui ont illuminé ma vie de joie, de rires et de souvenirs inoubliables. Vous avez été mes partenaires d'apprentissage, ensemble nous avons affrontés les réalités du monde médical, faisons face aux défis et aux responsabilités. Cette dédicace est une expression de ma reconnaissance et de mon amour envers vous, mes amis, vous m'avez apporté du réconfort dans les moments difficiles de la joie dans les moments de bonheur et une présence précieuse tout au long de notre parcours commun. Merci d'être là, je vous souhaite plein de bonheur, de santé, de prospérité et de réussite.*

## *Chère Dr. Bouchra Benazza, mon amie,*

*J'exprime ma profonde reconnaissance envers toi, qui m'a accueillie dans ton bureau et a partagé avec moi tes connaissances et ton expérience. Tu es bien plus qu'un médecin, tu es une amie précieuse qui m'a encouragé et guidé tout au long de mon parcours.*

*Dès le premier jour où je suis entrée dans ton bureau, j'ai été frappée par ta gentillesse et ta générosité. Tu m'as ouvert tes portes, non seulement en tant qu'étudiante, mais aussi en tant que ta fille, et tu as veillé à ce que je me sente soutenue et à l'aise. Tu as partagé avec moi tes connaissances médicales, ton expertise et tes conseils avisés. Tu as pris le temps de m'apprendre tout ce que tu sais, de répondre à mes questions et de m'orienter dans mon raisonnement et pratique médicale. Ta patience et ta bienveillance ont été une source d'inspiration pour moi.*

*Tu as été cette voix qui me disait que j'en étais capable, même lorsque je doutais de moi-même. Ta confiance en moi m'a donné la force de me dépasser.*

*Tu as été un modèle pour moi, non seulement en tant que médecin compétente, mais aussi en tant qu'être humain compatissant et attentionné. Tu as joué un rôle essentiel dans mon parcours et ta présence a fait une différence significative dans ma vie. Je suis honorée et privilégiée d'avoir pu bénéficier de ton amitié et de ton enseignement.*

## *Cher personnel du CS Dar Tounsi,*

*Une équipe extraordinaire qui m'a encadré dès mon stage de soins en première année jusqu'à mon passage en tant que faisant fonction interne en septième année. Votre accueil chaleureux et votre dévouement ont marqué mon parcours.*

*Dès mes premiers pas au sein de votre établissement, j'ai été accueillie avec bienveillance et soutien. Vous m'avez donné l'opportunité de mettre en pratique mes connaissances théoriques et de développer mes compétences cliniques. Votre expertise, votre patience et votre volonté de transmettre m'ont permis de grandir en tant que clinicien.*

*Ce que j'ai appris auprès de vous dépasse largement les compétences techniques. Vous m'avez enseigné l'importance de l'écoute active, de la communication empathique et de la prise en compte des besoins individuels de chaque patient.*

*Votre travail humanitaire a été une source d'inspiration pour moi, et je m'efforce de suivre votre exemple en apportant mon aide à ceux qui en ont le plus besoin.*

*Cette dédicace est un témoignage de ma gratitude et de mon respect envers vous. Votre équipe est un exemple d'excellence professionnelle, de compassion et de dévouement. Vous m'avez montré l'importance du travail d'équipe, de la collaboration et de la solidarité pour offrir des soins de qualité.*

*À tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de cette thèse, je vous suis profondément reconnaissante. Vos encouragements, votre soutien et votre présence ont fait toute la différence. Cette dédicace vous est adressée avec une immense gratitude et une reconnaissance éternelle.*

*A tous mes enseignants tout au long de mes études...*

*À tous ceux qui me sont chère et que j'ai omis de citer...*



# *Remerciements*



*A notre maître et président de thèse :*  
*Monsieur le professeur ABKARI Imad*  
*Professeur de l'enseignementsupérieur et chef de service de*  
*traumatologie orthopédieau CHU Mohammed VI de*  
*Marrakech*

*Qui m'a fait l'honneur en acceptant de présider le jury de cette thèse. Votre rôle en tant que garant de l'intégrité et de la qualité de ce travail a été essentiel. Je tiens à exprimer ma gratitude pour le meilleur accueil que vous m'avez réservé, pour votre présence lors de ma soutenance et pour votre évaluation impartiale de mon travail.*

*A notre cher maître et rapporteur de thèse :*  
*Professeur BENHIMA Mohamed Amine*  
*Professeur de l'enseignement supérieur en traumatologie*  
*orthopédieau CHU Mohammed VI de Marrakech*

*C'est avec un immense respect et une profonde gratitude que je dédie cette thèse à vous, mon professeur . Vous avez joué un rôle crucial dans l'aboutissement de ce travail.*

*Dès le début de ma thèse, vous avez fait preuve d'une générosité sans faille en partageant votre expertise et en consacrant du temps à évaluer mes travaux de recherche. Vos commentaires constructifs et pertinents m'ont permis d'améliorer mes analyses, de renforcer mes arguments et d'approfondir mes réflexions.*

*Je suis profondément reconnaissante pour le temps que vous avez consacré à évaluer et à guider ma thèse. Votre investissement personnel et votre intérêt sincère pour mon travail ont renforcé ma détermination à atteindre les plus hauts standards académiques.*

*A notre maître et juge de thèse :*  
*Professeur EL HAOURY Hanane*  
*Professeur de l'enseignement supérieur en traumatologie*  
*orthopédie à l'hôpital Ibn Tofaïl de Marrakech*

*Je vous remercie de la spontanéité avec laquelle vous avez accepté de juger ce travail. Permettez-moi, cher maître, de vous présenter à travers ce travail le témoignage de mon grand respect et l'expression de ma profonde reconnaissance.*

*A notre maître et juge de thèse :*  
*Professeur MARGAD Omar*  
*Professeur de l'enseignement supérieur en traumatologie*  
*orthopédie à l'hôpital militaire Avicenne de Marrakech*

*Je tiens à vous remercier pour votre temps, votre engagement et votre contribution à mon travail de thèse. Veuillez trouver ici le témoignage de mon profond respect et mes remerciements les plus sincères.*



*Tableaux et figures*



**Figure 1** :Le programme du « Surgical simulation tour » à FMPPM

**Figure 2**:Photos du simulateur ArthroS

**Figure 3** : Répartition des participants par tranches d'âge

**Figure 4** :Répartition des participants en fonction de la ville

**Figure 5** :Répartition des participants en fonction de leur année de formation

**Figure 6** :Répartition des participants en fonction de leur main dominante

**Figure 7** :Évaluation subjective du niveau des résidents en arthroscopie

**Figure 8** :Évaluation subjective de la formation des résidents en arthroscopie

**Figure 9** :Expérience antérieure avec le simulateur

**Figure 10** :Niveau de satisfaction globale de la formation

**Figure 11** :Degré du réalisme global du simulateur

**Figure 12** :Utilité de la formation comme outil d'apprentissage

**Figure 13** :Recommandation de la formation aux autres collègues

**Figure 14** :Degré du réalisme des graphiques (software)

**Figure 15** :Degré du réalisme du matériel (hardware)

**Figure 16** :Degré du retour de sensation (Feedback haptique)

**Figure 17** :Degré du réalisme sonore.

**Figure 18** :Degré d'immersion globale

**Tableau I** : Les caractéristiques principales pour intégrer la simulation aux cursus



# *Abréviations*





## Liste des abréviations

**CHU** : Centre Hospitalier Universitaire.

**CSI2S** : Centre de simulation et d'innovation en science de la santé

**FMPM** : Faculté de Médecine et de Pharmacie de Marrakech

**RV** :Réalitévirtuelle.

**FAST** :Fundamentals of arthroscopic surgery training

**ASSET** :Arthroscopic Surgical Skill Evaluation Tool

**MPG** : Ménisectomie partielle du genou.

**HAS** :Haute Autorité de Santé

**FLS** :Fundamentals of Laparoscopic Surgery

**ACS** :American College of Surgeons

**APDS** :Association of Program Directors in Surgery



# *Plan*



<b>Introduction</b>	<b>1</b>
<b>Matériels et méthodes</b>	<b>4</b>
<b>I. Design de l'étude</b>	<b>5</b>
<b>II. Surgical simulation Tour</b>	<b>5</b>
<b>III. Population</b>	<b>6</b>
<b>IV. Questionnaire</b>	<b>6</b>
<b>V. Analyse des données</b>	<b>7</b>
<b>VI. Considérations éthiques</b>	<b>7</b>
<b>VII. Conflits d'intérêt</b>	<b>8</b>
<b>VIII. Matériel de l'étude</b>	<b>8</b>
<b>Résultats</b>	<b>10</b>
<b>I. Les caractéristiques démographiques des participants</b>	<b>11</b>
1) Age	11
2) Sexe	12
3) Ville d'exercice	12
4) Année de formation	13
5) Main dominante	13
<b>II. Niveau de connaissance des participants en arthroscopie</b>	<b>14</b>
1) Evaluation subjective du niveau des résidents en arthroscopie	14
2) Evaluation subjective de la formation actuelle des résidents en arthroscopie	14
3) Expérience antérieure avec le simulateur	15
<b>III. La satisfaction globale du déroulement de la journée</b>	<b>16</b>
1) Niveau de satisfaction globale de la formation	16
2) Degré du réalisme global du simulateur	16
3) Utilité de la formation comme outil d'apprentissage	17
4) Recommandation de la formation aux autres collègues	17
<b>IV. Les scores de réalisme du simulateur de la réalité virtuelle</b>	<b>18</b>
1) Degré du réalisme des graphiques (software)	18
2) Degré du réalisme du matériel (hardware)	18
3) Degré de réalisme du retour de sensation (Feedback haptique)	19
4) Degré du réalisme sonore	19
5) Degré d'Immersion globale	20
<b>V. Avantages du simulateur de réalité virtuelle</b>	<b>20</b>
<b>VI. Inconvénients du simulateur de réalité virtuelle</b>	<b>21</b>
<b>VII. Commentaires libres à propos de l'état actuel de l'apprentissage de l'arthroscopie au Maroc</b>	<b>21</b>
<b>VIII. Remarques et suggestion pour améliorer l'apprentissage de l'arthroscopie</b>	<b>21</b>

<b>Discussion</b>	<b>22</b>
<b>I. Le ressenti de nos résidents sur les modes d'enseignements actuels en arthroscopie</b>	<b>23</b>
<b>II. L'évaluation du réalisme du simulateur de réalité virtuelle</b>	<b>25</b>
<b>III. Intérêt du simulateur en RV pour la formation</b>	<b>27</b>
1) Acquisition de compétences en arthroscopie par le simulateur de réalité virtuelle	27
2) Transférabilité des compétences acquises sur simulateur au bloc opératoire	29
3) Optimisation de l'utilisation de la simulation et son intégration au sein du cursus de chirurgie orthopédique :	32
4) Motivation à court et à long terme des résidents à suivre des cursus de formation en simulation pour maintenir les compétences acquises dans le temps	33
5) Optimisation et sécurité de l'apprentissage au bloc opératoire via la simulation en réalité virtuelle	34
<b>IV. Limites de l'étude</b>	<b>35</b>
<b>Recommandations</b>	<b>36</b>
<b>Conclusion</b>	<b>39</b>
<b>Résumés</b>	<b>41</b>
<b>Annexes</b>	<b>48</b>
<b>Bibliographie</b>	<b>55</b>



# *Introduction*



L'arthroscopie est une technique chirurgicale mini-invasive en plein essor, dont l'acquisition est considérée comme un élément-clé de la formation en chirurgie orthopédique.

Cependant, ce système d'enseignement et d'acquisition des compétences connaît certaines limites, car dans notre contexte comme ailleurs, le nombre de gestes arthroscopiques réalisés durant la période de résidanat reste limité, et ne peut conduire au développement de ces compétences.

En effet, il persiste dans la population d'internes d'orthopédie, notamment américains, le sentiment d'être moins bien entraîné en arthroscopie par rapport aux techniques de chirurgie à ciel ouvert conventionnelle : 67% des internes US estiment que le temps dédié à la formation en arthroscopie est inadéquat. [1] Par ailleurs cette période initiale d'apprentissage présente un taux accru de complications chez les patients, qui peuvent être parfois irréversibles.

Ajouté à cela le fait qu'à côté de l'arthroscopie du genou et de l'épaule, qui sont répandues depuis plusieurs années dans les centres universitaires, de nouvelles articulations sont devenues accessibles à la chirurgie arthroscopique, comme la hanche, le poignet, ou la cheville, qui ont une courbe d'apprentissage plus longue et laborieuse et dont la rareté des cas rend l'acquisition plus difficile.

Face à cette situation, la simulation en arthroscopie est devenue une méthode incontournable pour l'acquisition et le maintien de compétences en dehors du bloc opératoire, afin d'améliorer la qualité et la sécurité des gestes dans l'intérêt du patient, suivant l'objectif éthique « jamais la première fois sur le patient ». D'autant plus que l'arthroscopie nécessite une longue courbe d'apprentissage, et l'une des premières compétences qui doivent être acquises est la capacité de se repérer dans l'espace (triangulation)

Les avancées technologiques ont permis l'élaboration de plusieurs modèles de simulation, du plus simple (une boîte noire utilisable dans des conditions sèches ou humides qui permet l'apprentissage des bases de l'arthroscopie dans un environnement contrôlé) aux plus performantes utilisant les avancées récentes en informatique et en réalité virtuelle donnant un sentiment d'immersion très appréciable.

Le principal objectif de notre étude est de déterminer l'utilité du simulateur haute-fidélité dans l'acquisition des compétences en arthroscopie, afin de contribuer à l'élaboration d'une stratégie de formation de nos résidents en chirurgie orthopédique. Un objectif qui s'aligne avec la vision qu'a adoptée notre faculté via le centre de simulation et d'innovation en science de la santé (CSI2S), visant à encourager la simulation pour améliorer la sécurité, l'efficacité et l'efficience des pratiques de soins de santé.[2]



*Matériels et méthodes*





Conscient de leur vocation dans l'optimisation de la formation médicale pour l'amélioration de la qualité et de la sécurité des soins, le CHU Mohammed VI et la FMPPM (via le centre de simulation et d'innovation en science de la santé) ont organisé des journées de simulation en partenariat avec les sociétés Metec et VirtaMed : une entreprise suisse qui produit les simulateurs de chirurgie hautement réalistes pour l'enseignement médical.

Durant cet événement qui a duré 2 journées, les résidents en traumatologie-orthopédie ont pu tester le simulateur haute-fidélité ArthroS, avec le module FAST (Fundamentals of Arthroscopic Surgery Training), le module genou et épaule.

### **I. Design de l'étude :**

Une étude épidémiologique descriptive a été réalisée auprès des résidents de traumatologie-orthopédie, suite à cet événement organisé en convention avec les 7 facultés du royaume (Casablanca, Agadir, Marrakech, Fès, Oujda, Rabat, Tanger), « Surgical Simulation Tour »,

### **II. Surgical simulation Tour :**

Le laboratoire de simulation s'est rendu dans les 07 CHU du Royaume afin d'offrir aux médecins internes et résidents de chirurgie le meilleur accompagnement pédagogique en arthroscopie, coelioscopie digestive et urologique sur des simulateurs de la réalité virtuelle de dernière génération

The poster for the 'Surgical Simulation Tour Marrakech' features logos at the top for 'Cité de l'Innovation DE MARRAKECH', 'Centre de Simulation et d'Innovation en Sciences de la Santé', 'MARRAKECH UNIVERSITY CADI AYYAD', 'METEC DIAGNOSTIC', 'VIRTAMED', and 'STAN institute'. The main title is 'SURGICAL SIMULATION TOUR MARRAKECH'. It lists dates 'Les 30 juin et 01 juillet 2021' and the location 'A la Faculté de Médecine et de Pharmacie Marrakech'. The program is divided into two days: 'Jour 1: Mercredi 30 juin 2021' and 'Jour 2: Jeudi 01 juillet 2021', with a detailed schedule of activities for each. A central graphic contains the objectives: 'Notre objectif: Former les médecins internes et résidents grâce à la simulation médicale.' and 'Objectifs de la formation: S'entraîner même en période de crise sanitaire mondiale, Prendre conscience et renforcer ses connaissances, Améliorer sa pratique par le droit à l'erreur'. At the bottom right, there are two small photographs showing the simulation equipment and participants.

**Figure 1 : Le programme du « Surgical simulation tour » à FMPM**

### III. Population :

Notre étude a porté sur l'ensemble des résidents en chirurgie orthopédique ayant participé à l'événement. L'étude inclut 97 résidents en traumatologie-orthopédie, qui ont exploré le simulateur de réalité virtuelle ArthroS FAST (Fundamentals of arthroscopic surgery training), Genou et épaule.

Un questionnaire de satisfaction a été soumis par la suite.

### IV. Questionnaire :(annexe 1)

Le questionnaire comportait 22 questions regroupées en 8 catégories : données démographiques, expérience en arthroscopie, ressenti personnel sur la formation en arthroscopie, initiation au simulateur haute-fidélité, satisfaction globale de l'atelier, réalisme du simulateur, avantages et inconvénients du simulateur, remarques et suggestions.

Les types de questions étaient soit ouvertes (ex. : Dans quelle ville exercez-vous ?), soit fermées (ex. : comment jugez-vous votre niveau en arthroscopie ?) ou qualitatives ordinales (ex. : Quel est le degré du réalisme des graphiques (software) ?).

Certaines réponses étaient recueillies selon l'échelle de Likert, comportant 5 items :

- Pour la rubrique, satisfaction globale du déroulement de la journée, les items étaient :

1 = Pas du tout d'accord

2 = Pas d'accord

3 = Neutre

4 = D'accord

5 = Tout à fait d'accord

- Pour la rubrique, évaluation du niveau de réalisme du simulateur de la réalité virtuelle, les items étaient :

1 = Très insatisfait(e)

2 = Insatisfait(e)

3 = Neutre

4 = Satisfait(e)

5 = Très satisfait(e)

## **V. Analyse des données :**

Des statistiques descriptives simples ont été utilisées présentant les résultats sous forme de valeur absolue et de pourcentage.

## **VI. Considérations éthiques :**

Le respect de l'anonymat des questionnaires et la confidentialité des données ont été pris en compte.

## **VII. Conflits d'intérêt :**

Nous n'avons aucune affiliation ou implication avec les deux sociétés organisant cet événement, Metec et VirtaMed, aucun intérêt financier (comme des honoraires; des subventions éducatives; une participation à des bureaux de conférenciers; une adhésion, un emploi, des consultations, une propriété d'actions ou autres intérêts d'équité; et des témoignages d'experts ou des arrangements de licence de brevet) ou un intérêt non financier (comme des relations personnelles ou professionnelles, des affiliations, des connaissances ou des croyances) dans le sujet ou les matériaux discutés dans notre étude.

## **VIII. Matériel de l'étude :**

Le simulateur ArthroS de VirtaMed qui utilise un arthroscope réel modifié et des instruments authentiques modifiés afin de renforcer la fiabilité et de permettre aux résidents de se familiariser avec l'équipement. Il dispose également de valves d'entrée et de sortie pour la manipulation des fluides et reproduit la mauvaise vue que l'on rencontre lorsque celle-ci n'est pas gérée de manière appropriée. Des caméras à 0, 30 et 70° sont fournies, ainsi qu'une sonde, une pince, un poinçon et un couteau motorisé (sheaver).

Un modèle synthétique de genou ou d'épaule est ajouté, et le genou peut être soumis à des contraintes en varus et en valgus pour ouvrir les compartiments articulaires selon les besoins. Le modèle épaule peut-être placé en décubitus latéral ou en position de chaise longue (beach chair). Des tutoriels didactiques permettent aux stagiaires d'utiliser l'appareil de manière autonome et de faciliter l'apprentissage autonome.

Il existe des modules guidés pour l'apprentissage des compétences de base, des modules pour le diagnostic nécessitant l'utilisation de la sonde et des modules pour l'arthroscopie thérapeutique nécessitant l'utilisation de la pince, du poinçon ou du couteau motorisé (sheaver).



**Figure 2 : Photos du simulateur ArthroS ; A) un résident explore l'articulation du genou. B) Module du genou. C) Module de l'épaule. D) instruments chirurgicaux spécialement adaptés au simulateur. E) la camionnette de simulation**



# *Résultats*



## I. Les caractéristiques démographiques des participants :

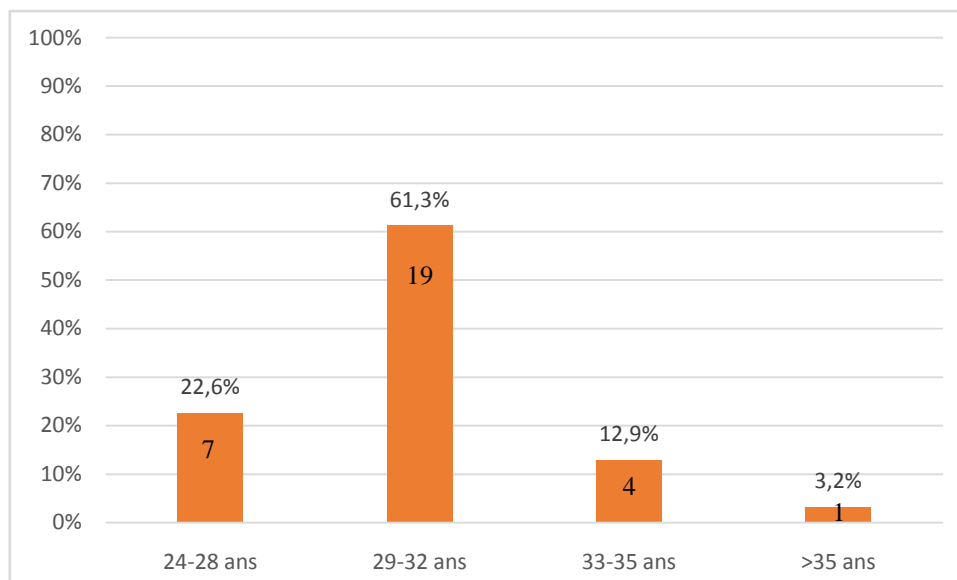
Durant la tournée du laboratoire mobile de simulation chirurgicale, 97 résidents en chirurgie orthopédique ont pu tester le simulateur AthroS.

A la fin de l'évènement 31 réponses au questionnaire de satisfaction ont été récupérées, soit un taux de réponses de 32%.

### 1) Age :

L'âge des participant a était représenté par des tranches d'âge ; (24–28ans), (29–32ans), (33–35ans),  $\geq 35$ ans.

83,9% des participants appartenait à la tranche d'âge (24–32ans)



**Figure 3 : Répartition des participants par tranches d'âge**



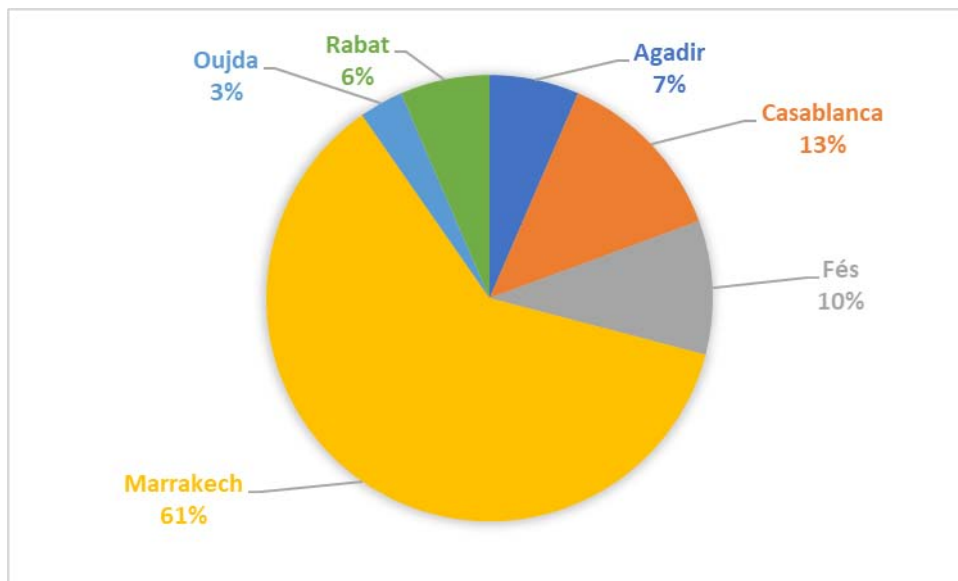
## 2) Sexe :

Tous les participants été de sexe masculin.

## 3) Ville d'exercice :

Les participants était au nombre de 31 résidents :

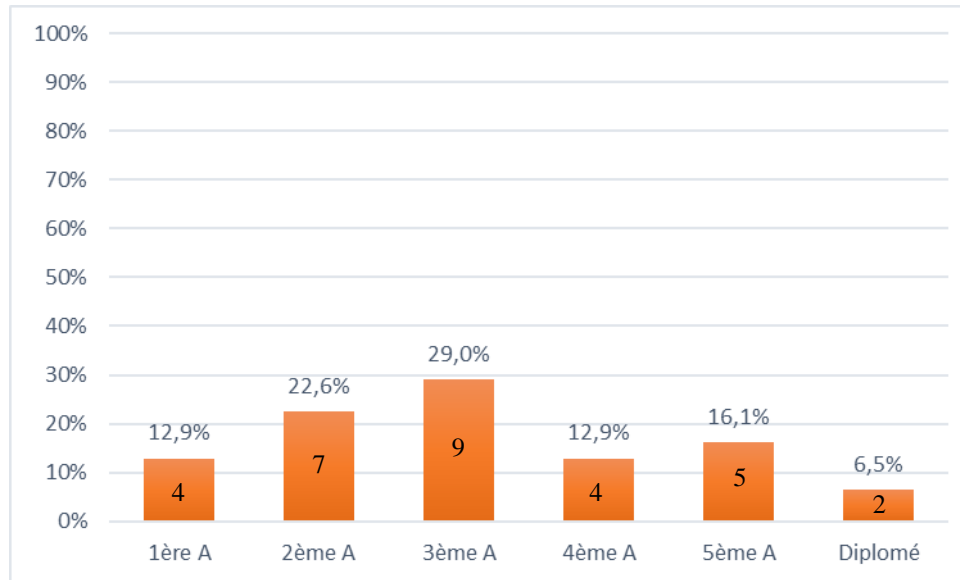
- 19 résidents de Marrakech.
- 2 résidents de Agadir.
- 4 résidents de Casablanca.
- 3 résidents de Fès.
- 1 résident de Oujda.
- 2 résidents de Rabat.



**Figure 4 : Répartition des participants en fonction de la ville**

#### 4) Année de formation :

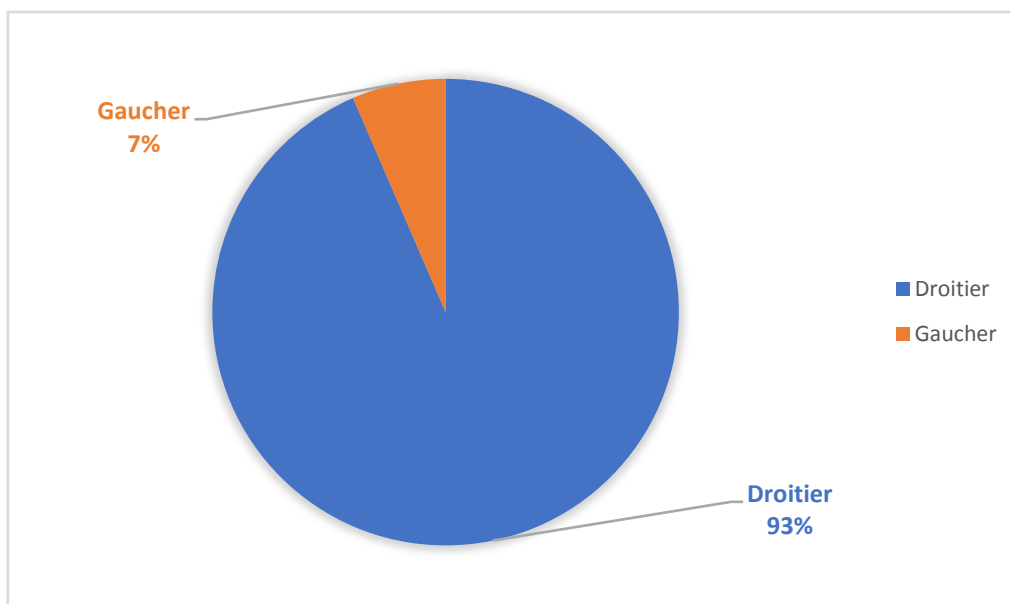
A la question « vous êtes en quelle année de formation ? » les participants ont répondu :



**Figure 5 : Répartition des participants en fonction de leur année de formation**

#### 5) Main dominante :

A la question « vous êtes droitier ou gaucher ? » les participants ont répondu :

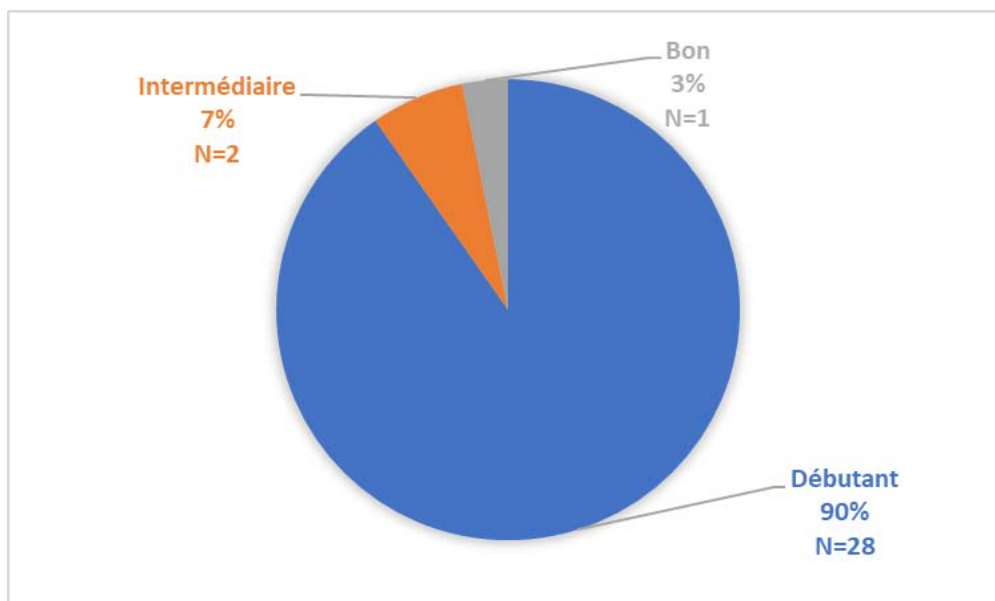


**Figure 6 : Répartition des participants en fonction de leur main dominante**

## II. Niveau de connaissance des participants en arthroscopie :

### 1) Evaluation subjective du niveau des résidents en arthroscopie :

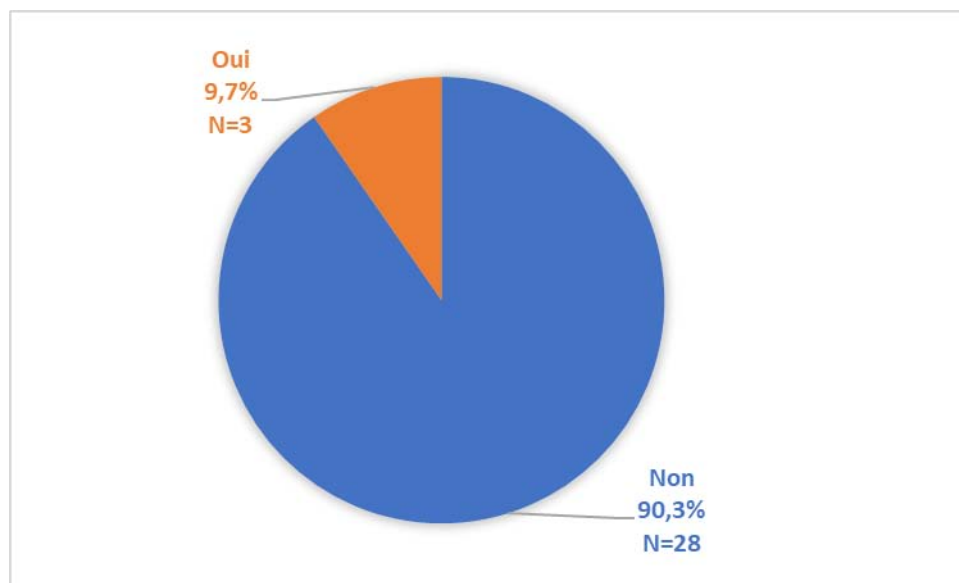
A la question « comment jugez-vous votre niveau d'arthroscopie ? » les participants ont répondu :



**Figure 7 : Evaluation subjective du niveau des résidents en arthroscopie**

### 2) Evaluation subjective de la formation actuelle des résidents en arthroscopie :

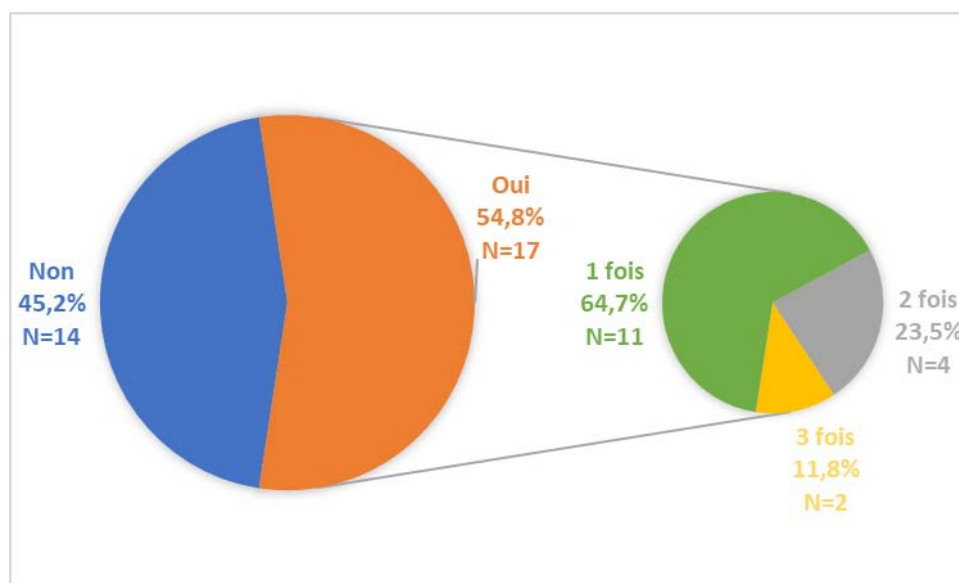
À la question fermée « jugez-vous votre formation en arthroscopie est insuffisante ? » : 90.3% (n=28) des résidents en traumatologie orthopédie jugent leur formation actuelle en arthroscopie insuffisante.



**Figure 8 : Evaluation subjective de la formation des résidents en arthroscopie**

### 3) Expérience antérieure avec le simulateur :

À la question fermée « avez-vous eu l'occasion de tester le simulateur auparavant ? » : 17 (54,8%) résidents ont eu l'occasion de tester le simulateur auparavant dont 11 l'avaient utilisé une fois (64,7%), 4 l'avaient utilisé deux fois (23,5%) et 2 trois fois (11,8%), tandis que 14 (45,2%) résidents n'ont jamais eu l'occasion de tester la simulation en arthroscopie auparavant.

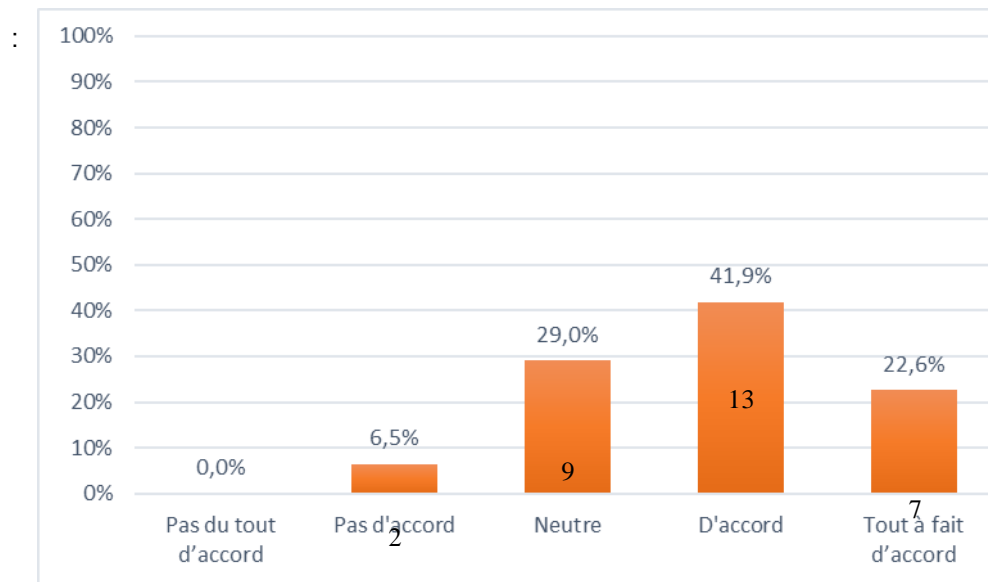


**Figure 9 : Expérience antérieure avec le simulateur**

### III. La satisfaction globale du déroulement de la journée :

#### 1) Niveau de satisfaction globale de la formation :

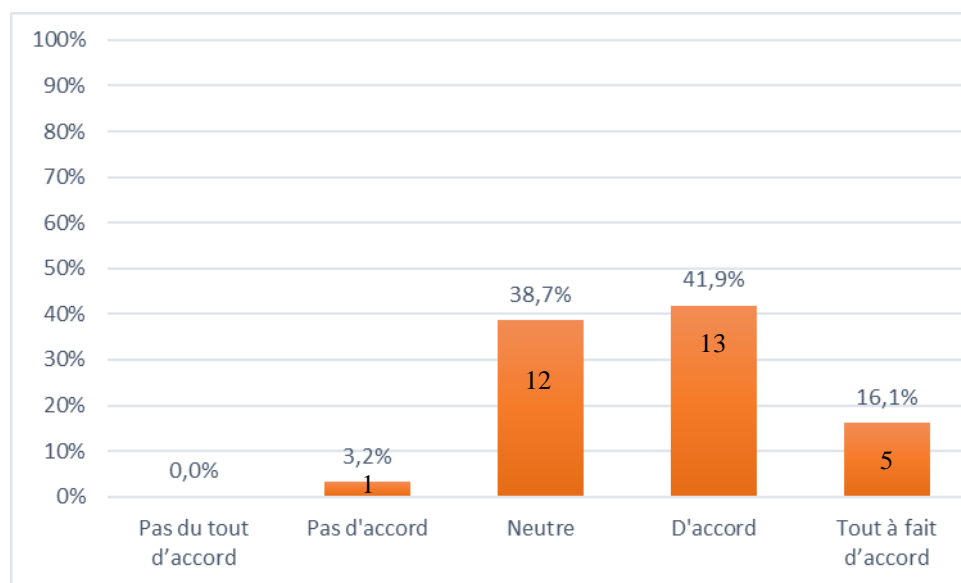
À la question « vous êtes satisfait de cette formation » les réponses des participants étaient



**Figure 10 : Niveau de satisfaction globale de la formation**

#### 2) Degré du réalisme global du simulateur :

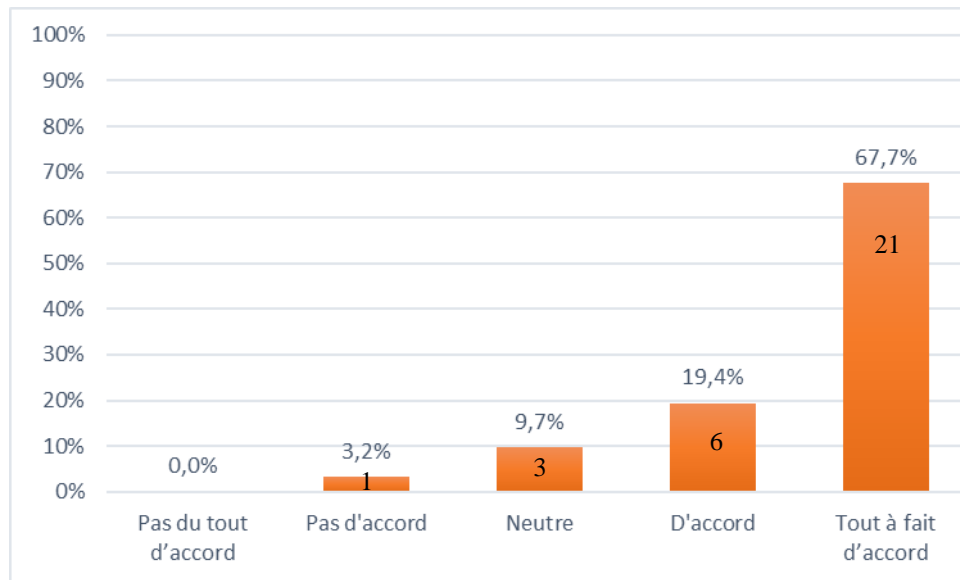
À la question « globalement le simulateur paraît-il proche de la réalité » les réponses des participants étaient :



**Figure 11 : Degré du réalisme global du simulateur**

### 3) Utilité de la formation comme outil d'apprentissage :

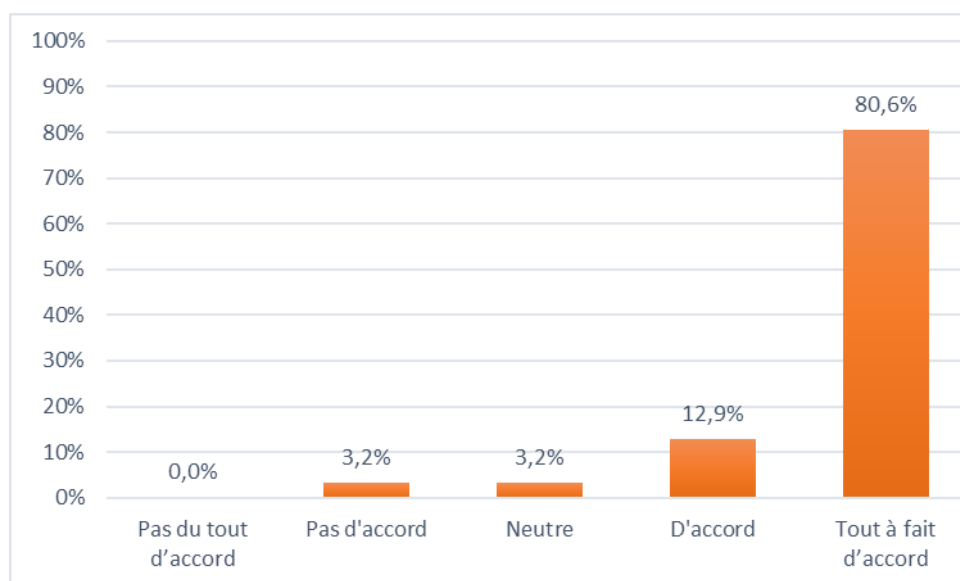
À la question « le simulateur paraît-il un outil de formation efficace » les réponses des participants étaient :



**Figure 12 : Utilité de la formation comme outil d'apprentissage**

### 4) Recommandation de la formation aux autres collègues :

À la question « recommandez-vous cette formation aux autres collègues ? » les



réponses des participants étaient :

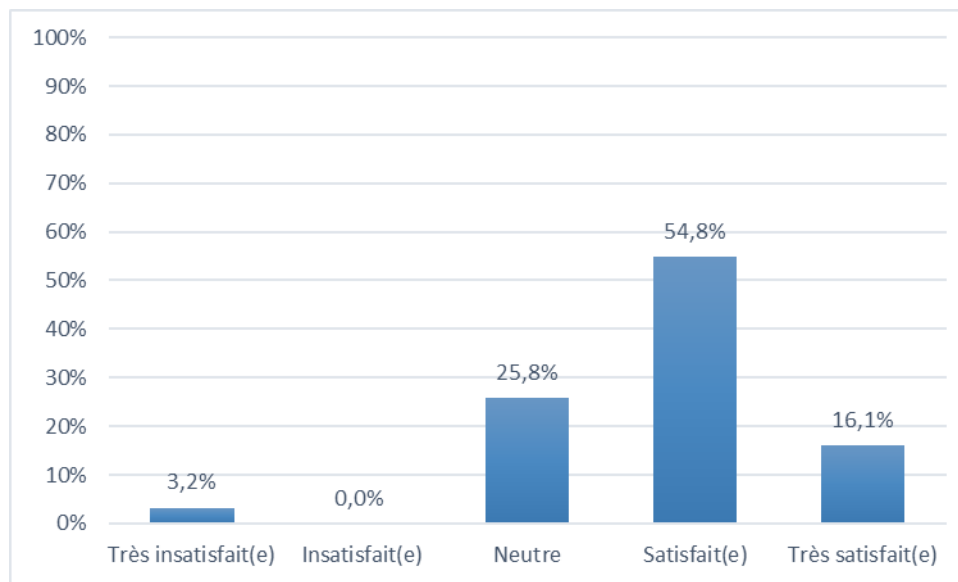
1                      1                      4

**Figure 13 : Recommandation de la formation aux autres collègues**

#### IV. Les scores de réalisme du simulateur de la réalité virtuelle :

##### 1) Degré du réalisme des graphiques (software) :

À la question « quel est votre niveau de satisfaction du réalisme graphique (software) ? » les



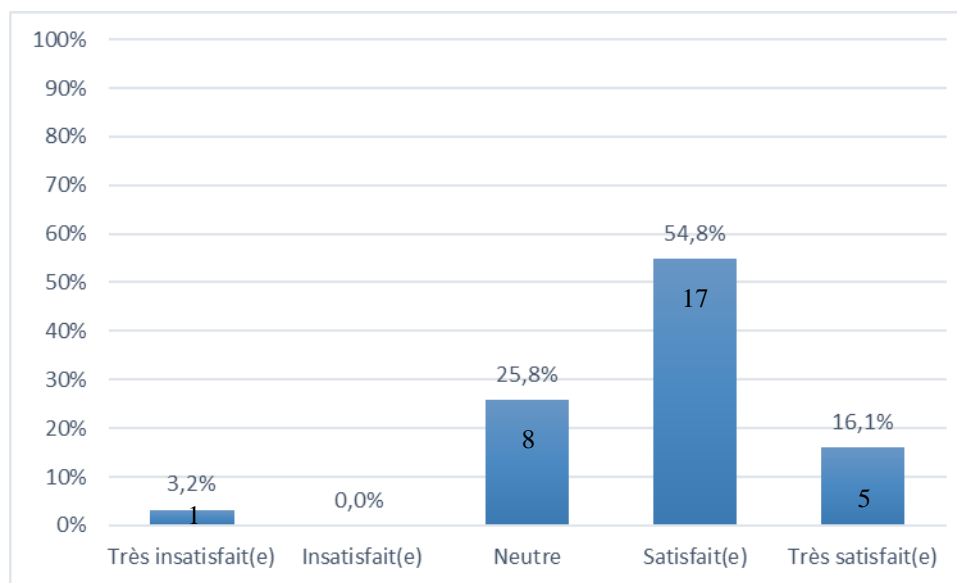
réponses des participants étaient :



**Figure 14 : Degré du réalisme des graphiques (software)**

## 2) Degré du réalisme du matériel (hardware) :

À la question « quel est votre niveau de satisfaction du réalisme matériel (hardware) ? » les réponses des participants étaient :

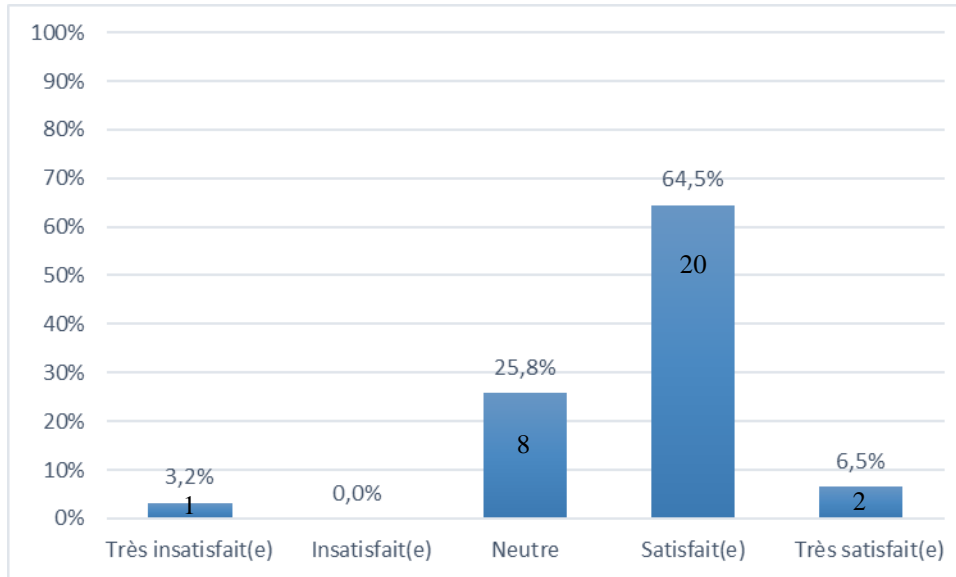


**Figure 15 : Degré du réalisme du matériel (hardware)**



### 3) Degré deréalisme du retour de sensation (Feedback haptique) :

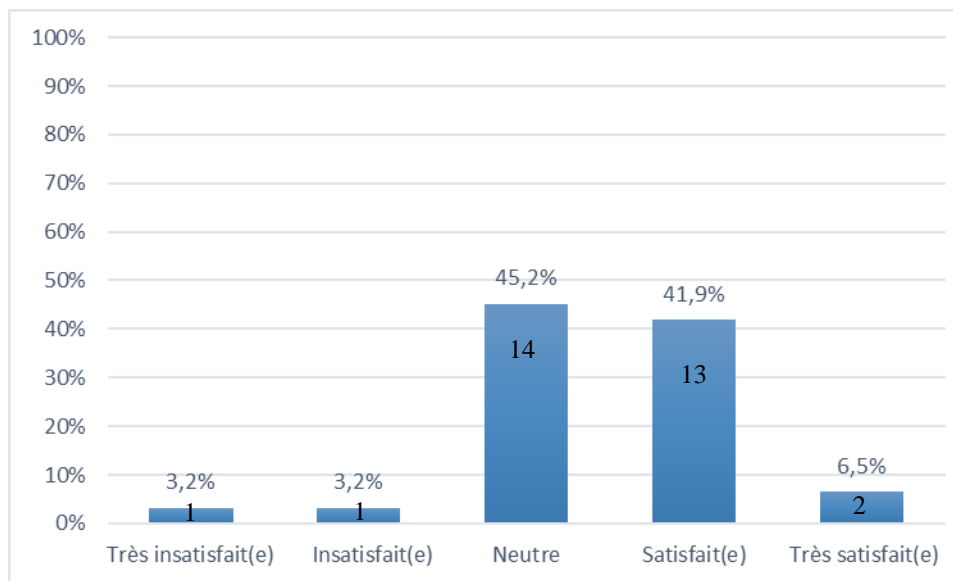
À la question « quel est votre niveau de satisfaction du retour de sensation (feedback haptique) ? » les réponses des participants étaient :



**Figure 16 : Degré du retour de sensation (Feedback haptique)**

### 4) Degré du réalisme sonore :

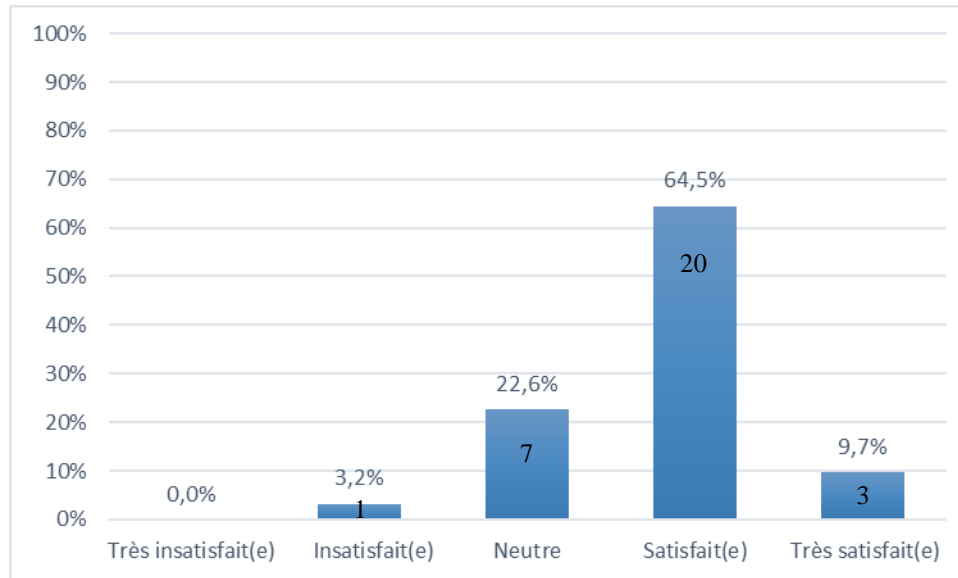
À la question « quel est votre niveau de satisfaction du réalisme sonore ? » les réponses des participants étaient :



**Figure 17 : Degré du réalisme sonore**

### 5) Degré d'Immersion globale :

À la question « quel est votre niveau de satisfaction de l'immersion globale ? » les réponses des participants étaient :



**Figure 18 : Degré d'immersion globale**

### V. Avantages du simulateur de réalité virtuelle :

À la question ouverte « Citez les avantages du simulateur de réalité virtuelle » les réponses des participants étaient :

- Outil d'apprentissage proche de la réalité (n=7)
- Possibilités illimitées de répétitions des procédures (n=4)
- Evaluation objective voire auto-évaluation (n=4)
- Outil pertinent pour les débutants sans stress du bloc opératoire (n=8)
- Variété des cas diagnostiques et pathologies (n=3)

## **VI. Inconvénients du simulateur de réalité virtuelle :**

À la question ouverte « Citez les inconvénients du simulateur de réalité virtuelle » les réponses des participants étaient :

- Non-disponibilité du simulateur (n=6)
- Impossibilité de réaliser des incisions (n=2)
- Temps consacré aux participants est très limité (n=4)
- Nécessite la présence d'un formateur expérimenté (n=1)

## **VII. Commentaires libres à propos de l'état actuel de l'apprentissage de l'arthroscopie au Maroc :**

À la question ouverte « Que pensez-vous de l'état actuel de l'apprentissage de l'arthroscopie au Maroc ? » les réponses des participants étaient :

- Insuffisante (n=18)
- Acceptable (n=4)
- Sur la bonne voie (n=7)
- Correcte pour la pathologie du genou et très en retard pour celles de la hanche, épaule et cheville (n=1)

## **VIII. Remarques et suggestion pour améliorer l'apprentissage de l'arthroscopie :**

À la question ouverte « Avez-vous des remarques ou des suggestions pour améliorer l'apprentissage de l'arthroscopie ? » les suggestions et propositions des participants pour une meilleure pratique ont été nombreuses et diverses :

- Avoir un simulateur disponible et organiser régulièrement des ateliers pratiques (n=20)
- Disposer de DIU d'arthroscopie (n=2)
- Varier les modalités pédagogiques (simulation, cadavres, E-learning) (n=1)



# *Discussion*



L'essor croissant de l'arthroscopie confère à cette discipline une importance primordiale dans le cursus de la chirurgie orthopédique. Actuellement, dans notre contexte, l'acquisition des compétences dans nos services, peut s'effectuer de diverses manières :

- Théorique ; via des supports pédagogiques (livres, articles, vidéos)
- Par compagnonnage ; au contact des professeurs et chirurgiens séniors au bloc opératoire.
- Par diplôme inter-universitaire ; auprès d'experts renommés.

## **I. Le ressenti de nos résidents sur les modes d'enseignements actuels en arthroscopie :**

Notre étude a permis de mettre en exergue que plus de 90% des résidents en traumatologie orthopédie jugent leur formation actuelle en arthroscopie insuffisante. Ce qui s'accorde avec la littérature. L'étude de Hall et al.[1] a montré que la majorité des résidents en orthopédie aux états unis d'Amérique ont le sentiment d'être moins bien entraîné en arthroscopie par rapport aux techniques de chirurgie à ciel ouvert conventionnelle. En effet 67% des résidents estiment que le temps dédié à la formation en arthroscopie est inadéquat. Seuls 32% des résidents de cinquième année pensaient qu'il y avait suffisamment de temps consacré à la formation en arthroscopie.

Pioger et al.[3] ,en France,a évalué le ressenti des internes sur leur formation en arthroscopie.96,5% des participants jugent qu'ils ne sont ou ne seront pas autonomes à la fin de leur cursus d'internat. 40 % des participants à l'étude, dont la majorité étaient enfin de cursus, avaient réalisé moins de 5 arthroscopies dites simples en tant qu'opérateur principal.

Dans notre contexte, cette insatisfaction des résidents peut être expliquée par certaines contraintes auxquelles sont confrontés nos services de traumatologie orthopédie :

- Nos centres ne sont pas hyperspécialisés et recrutent beaucoup de traumatologie en plus de l'orthopédie.
- Le nombre de résidents élevé, et en augmentation continue.
- Et le temps consacré au bloc opératoire par résident est limité et dédié principalement à la chirurgie à ciel ouvert.

Devant ce constat, il semble utile de s'interroger sur l'apport de la simulation comme support alternatif, en plus de l'enseignement par compagnonnage au bloc opératoire. Surtout que l'approche d'apprentissage par simulation a été utilisée pendant des décennies dans l'industrie de l'aviation[4], qui exige un haut niveau de compétences techniques, de faibles marges d'erreur et de conséquences extrêmement lourdes. En chirurgie viscérale, dans une revue de la littérature de 2013, Nagendran[5] répertorie 8 essais randomisés contrôlés évaluant l'entraînement virtuel contre une autre forme d'entraînement chez les internes peu expérimentés. L'évaluation finale s'est faite par des coelioscopies sur patients réels, les résultats ont objectivé une vraie validité de transfert. Ils ont objectivé une diminution des temps opératoires et une augmentation des performances chirurgicales que ce soit comparé à un entraînement standard ou sur des « boîtes d'entraînement » (simulateurs basse-fidélité)

Notre étude a mis en évidence la motivation des jeunes résidents à intégrer des programmes de simulation. 93,5% recommanderaient cette formation aux autres résidents en orthopédie. Ces résultats se retrouvent aussi dans une étude menée par Azzolin et al.[6] avec un score de recommandation de 4,9/5 après la participation à un programme sur simulateur en RV comportant 31 exercices.

Ainsi, en chirurgie il est indispensable de reconsidérer la croyance selon laquelle les compétences ne peuvent être acquises qu'en travaillant sur de vrais malades, basée sur le modèle traditionnel " see one, do one, teach one"[7]. De plus, ce modèle fondé exclusivement sur le bloc opératoire a été associé à des coûts élevés, une durée d'opération plus longue et

des craintes concernant la sécurité des malades.

Il se prête également à des expériences d'enseignement variables en raison de l'absence de possibilité de standardisation des patients pour l'apprentissage, d'évaluation objective et de feedback.[8-10] À l'inverse de la simulation qui permet un apprentissage par difficulté croissante avec des cas cliniques variés et reproductibles permettant une formation de résidents plus « contrôlée » et plus homogène.

## **II. L'évaluation du réalisme du simulateur de réalité virtuelle :**

Les simulateurs en arthroscopie se caractérisent par leur fidélité, plus elle est haute, plus ils permettent un meilleur ressenti d'immersion. Cependant, leur coût croit.

Le simulateur utilisé par notre étude (ArthroS) est un simulateur de dernière génération avec feedback en temps réel et haute-fidélité graphique.

A la question du réalisme global du simulateur nous avons constaté une impression subjective positive à 58%. Une autre partie de notre questionnaire a détaillé cet aspect du réalisme avec 70,9% favorables pour le réalisme graphique, 70,9% favorables pour le réalisme du matériel et 48,4% favorables pour le réalisme sonore.

Ce caractère du degré du réalisme a été apprécié aussi dans l'étude de Azzolin et al. [6] qui a retrouvé que les scores du réalisme du simulateur ont été notés à 4/5 pour le graphisme, à 4,5/5 pour l'instrumentation et à 3,8/5 pour l'ambiance sonore en utilisant le même simulateur (ArthroS).

On remarque que le réalisme sonore a été moins bien noté par les participants dans les deux études.

L'appréciation du degré du réalisme du simulateur, appelée validité apparente, a été évaluée dans plusieurs études ayant utilisé le même simulateur (ArthroS) :

- Rahm et al.[11] a retrouvé que l'impression générale du réalisme a été jugée « bonne » la majorité des 43 participants ayant obtenu une note comprise entre 5 et 7 points.





- Garfjeld Roberts et al.[12] a retrouvé que les participants étaient généralement d'accord (4) ou tout à fait d'accord (5) avec les affirmations concernant le réalisme de l'apparence extérieure, de l'affichage et de l'instrumentation (93,6 %, 87,1 % et 93,6 %, respectivement). L'arthroscopie diagnostique simulée était réaliste (90,3 %), donnait une idée de ce que serait une véritable arthroscopie (91,7 %) et constituait un environnement d'apprentissage à la fois agréable (97 %) et non menaçant (90,9 %).

L'évaluation du feedback haptique (le fait d'avoir un retour tactile de l'environnement virtuel) dans notre étude a été positive avec 71% des participants sont favorables. Résultat discordant avec la littérature ; l'étude de Garfjeld Roberts et al. [12] précise que le réalisme de la sensation de l'os et des tissus mous (les principales caractéristiques haptiques passives de ce simulateur) n'a pas été bien soutenu (51,6 % étaient généralement d'accord et 32,3 % tout à fait d'accord) et aussi dans l'étude de Rahm et al. [11] la sensation tactile a été la moins bien notée, avec une médiane de 4 points (sur une échelle de 0 à 7)

Cette discordance de résultats pour le feedback haptique peut être expliquée soit par l'amélioration et la mise à jour de cette option dans le simulateur que nous avons utilisé, soit par la surestimation des participants, puisqu'il s'agit d'un questionnaire subjectif.

En 2005 Issenberg[13] réalise une revue de la littérature sur 34ans et 109 études afin de répondre à la question « quelles sont les caractéristiques et les utilisations des simulateurs haute-fidélité qui conduisent à l'apprentissage le plus efficace ? ». Les 10 caractéristiques principales retenues sont résumées dans le tableau I.

Ces critères sont repris et cités dans le rapport de l'HAS[14] sur la simulation en santé pour

**Tableau I : Les caractéristiques principales pour intégrer la simulation aux cursus**

intégrer la simulation avec succès et avec les meilleurs résultats possibles.

Caractéristiques	Nombres d'études appuyant ces caractéristiques (en%)
1- Offrir un débriefing (feedback)	47%
2- Pratique répétée	39%
3- Intégration dans le curriculum	25%
4- Niveaux variables de difficultés	14%
5- Diversifiés les sources d'apprentissage	10%
6- Proposition de nombreux cas	10%
7- Environnement contrôlé	9%
8- Apprentissage individuel participatif	9%
9- Remplir des objectifs précis et mesurables	6%
10- Simulateur validé	3%

**III. Intérêt du simulateur en RV pour la formation :**

Ces dernières années ont vu une augmentation du nombre de publications relative à la formation par simulation haute-fidélité dans diverses spécialités cliniques, ce qui nous mène à interroger sa pertinence en tant que technologie de formation fiable et puissante particulièrement en arthroscopie :

**1) Acquisition de compétences en arthroscopie par le simulateur de réalité virtuelle :**

Plusieurs études [11][15-17] ont mis en évidence le rôle du simulateur de réalité virtuelle dans l'acquisition de compétences en arthroscopie à travers différents paramètres de mesure ;

- Le temps enregistré dans chaque exercice.
- Le chemin parcouru par la caméra.
- La durée de l'épreuve diagnostique et thérapeutique.



D'après les résultats, il y aurait des améliorations significatives de tous les paramètres permettant aux participants de développer des compétences psychomotrices.

Dans l'étude de Rahm et al. [18] ayant comme objectif d'analyser les courbes d'apprentissage utilisant un simulateur d'arthroscopie du genou (ArthroS), 20 étudiants ont été soumis à un programme d'entraînement sur simulateur de 8 séances de 30 minutes. Et ils ont passé des tests visuo-spatiaux avant et après le programme de simulation.

Les résultats ont montré que les participants ont une courbe d'apprentissage significative mais étonnamment raide et courte. Cette amélioration des compétences était pertinente jusqu'au quatrième test (score 4), ce qui représente environ deux heures de formation, sans amélioration supplémentaire significative par la suite.

Cette approche s'est concentrée uniquement sur des paramètres métriques pour évaluer la progression des participants.

Après 2 ans Rahm et al. [19] a réalisé une autre étude pour évaluer l'efficacité d'une formation standardisée sur un simulateur de RV du genou et de l'épaule. 20 résidents et 5 experts ont été inclus. Tous les participants ont effectué un test comprenant des tâches d'arthroscopie du genou et de l'épaule sur le simulateur de réalité virtuelle (ArthroS). Les résidents ont dû suivre un programme de formation basé sur les compétences. Par la suite, ils ont repassé le test effectué précédemment. Les résultats des performances ont été mesurés, non seulement à l'aide de paramètres métriques mais aussi à l'aide de l'outil d'évaluation des compétences en chirurgie arthroscopique (ASSET) afin d'évaluer les effets de la formation chez les résidents et les niveaux de performance chez les experts.

Les résidents se sont améliorés de manière significative entre l'évaluation initiale et l'évaluation finale. Pour ce qui est du score z global : Les résidents ont amélioré de manière significative leur z-score global de  $-9,82$  (intervalle,  $-20,35$  à  $-1,64$ ) à  $-2,61$  (intervalle,  $-6,25$  à  $1,5$ ) ;  $p < 0,001$ . Le score ASSET global s'est amélioré, passant de  $55\%$  à  $75\%$  ;  $p < 0,001$ . A noter que les experts ont toutefois obtenu un score z significativement plus élevé dans les tâches liées à l'épaule ( $p < 0,001$ ) et un score z statistiquement non significatif dans les tâches liées au genou avec un  $p = 0,921$ . Le score ASSET global moyen des experts (genou et épaule) était significativement plus élevé dans les tâches thérapeutiques ( $p < 0,001$ ) que celui des résidents après la formation.

Certaines études rapportent une corrélation positive entre le niveau d'arthroscopie des participants et leurs résultats de performance sur le simulateur. Ces études ont constaté que les simulateurs de réalité virtuelle ont une bonne capacité de différencier entre les chirurgiens novices et experts (validité conceptuelle). Dans l'étude de Pedowitz et al. [15] les résultats des différents participants ont permis de deviner leurs niveaux d'expérience réels avec une assez bonne fiabilité.

Au total, le simulateur de réalité virtuelle permet l'acquisition des compétences en arthroscopie.

## **2) Transférabilité des compétences acquises sur simulateur au bloc opératoire :**

Le but de la formation avec simulateur d'arthroscopie serait d'évaluer les participants directement sur de réelles arthroscopies : la validité de transfert.

Il est intéressant de noter que la corrélation entre la formation sur un simulateur et l'amélioration des performances en salle d'opération a été établie dans la littérature de chirurgie générale en 2013. Ainsi, Gallagher et al [20] a réalisé un essai clinique randomisé comparant les performances de chirurgiens laparoscopiques

novices et expérimentés avec ou sans simulation laparoscopique en réalité virtuelle.

Dans les deux groupes, malgré le niveau d'expérience, les sujets du groupe de simulation ont obtenu des performances significativement meilleures que celles des sujets témoins.

Cette validité de transfert des simulateurs de réalité virtuelle pour la pratique clinique de l'arthroscopie est portée par des essais randomisés contrôlés comme celui d'Howells et al [21] ; dans lequel un groupe entraîné sur simulateur a surpassé un groupe contrôle lors d'une réelle arthroscopie diagnostique d'évaluation du genou. Cette étude n'a pas précisé si les participants avaient continué leur formation habituelle au service en parallèle de la formation sur simulateur. En revanche, tous les participants avaient une expérience réduite en arthroscopie (moins de 2 ans de formation et ayant observé ou assisté à moins de 10 arthroscopies)

Cannon et al [22] qui ont montré que les résidents entraînés sur simulateurs seul étaient significativement meilleurs sur les performances globales et les étapes de la palpation lors d'une arthroscopie réelle. Au cours de l'étude, les résidents des deux groupes avaient poursuivi leur éducation et leur formation orthopédique spécifique à leur institution avec seulement des méthodes traditionnelles.

Récemment une étude de cohorte prospective de Ledermann et al. [23] faite sur 11 jeunes résidents afin d'évaluer la validité de transfert des compétences acquises après un programme de simulation pour ménissectomie partielle du genou (MPG). L'idée de l'étude était de choisir des procédures arthroscopiques relativement simples, MPG, pour évaluer l'acquisition des compétences après un programme de simulation. Le concept de l'étude était de comparer les résidents à des experts avant et après la formation sur le simulateur afin de calculer le taux de transfert des compétences.



Le procédé de l'étude comprenait 3 sessions :

- 1<sup>ère</sup> session initiale de formation sur de vrais patients pour évaluer la performance initiale des participants devant une MPG.
- 6 mois après la 1<sup>ère</sup>, une 2<sup>ème</sup> session de formation sur simulateur a été réalisée. Le programme comprenait un cours théorique, et 10 sessions d'entraînement supervisées et enregistrées (30 minutes chacune) avec une périodicité d'une session par semaine. Le modèle de simulation était constitué d'un modèle de genou Sawbones sec de basse fidélité.
- 3<sup>ème</sup> session 1 à 2 semaines après la fin de la session de simulation. Les mêmes résidents ont été évalués dans un scénario réel in vivo en salle d'opération, selon les mêmes normes que l'évaluation initiale.

Ces sessions ont été supervisées par des chirurgiens orthopédiques experts en genou. Dont trois ont mesuré la réalisation d'une MPG médiale sur de vrais patients en utilisant la même échelle, afin d'établir un objectif de formation et de prouver la validité de conceptualisation de l'étude.

Les résultats ont montré que tous les 11 participants ont amélioré leur score de base moyen de 14 points sur les patients réels et de 10 points sur le simulateur pour atteindre un score final moyen de 39 points et 36 points, respectivement ( $P < 0,01$ ). Le score final des résidents sur le simulateur ne différait pas de celui des experts sur le simulateur. Il était plus faible sur les patients réels (36 contre 39 points, respectivement,  $P \leq 0,01$ ), ce qui a donné un taux de transfert de 92 % pour le simulateur.

Au total, la formation sur simulateur de réalité virtuelle s'est avérée non seulement améliorer les compétences ; mais également transférer avec succès les compétences au bloc opératoire.

### **3) Optimisation de l'utilisation de la simulation et son intégration au sein du cursus de chirurgie orthopédique :**

La littérature présente une paucité d'articles ayant évalué la validité de transfert de la simulation dans le domaine d'arthroscopie. Selon Gallagher[24], considéré comme l'un des principaux représentants et experts internationaux dans le monde pour la conception, l'application et la validation de la simulation de la réalité virtuelle en médecine. La simulation avec RV permet d'améliorer les compétences chez les chirurgiens, en formation, mais il est nécessaire que :

- La réalité virtuelle soit systématiquement intégrée dans un programme d'éducation et de formation globale, adapté aux internes qui évalue objectivement leurs compétences techniques.
- L'évaluation des performances soit faite sur des paramètres métriques pertinents et validés pour la tâche chirurgicale à développer.
- Un objectif de niveau minimum de compétences à atteindre, soit déterminé objectivement.
- La formation soit planifiée sur une base d'intervalles réguliers étalés sur la durée de formation plutôt que sur une session intensive unique.

Toujours selon Gallagher, l'utilisation de simulateur d'haute-fidélité est probablement la plus efficace. Mais l'utilisation de simulateurs moins coûteux permet également d'améliorer les compétences générales surtout chez les chirurgiens débutants.

Au total, pour pouvoir offrir une formation adaptée aux objectifs de l'arthroscopie, il est indispensable d'élaborer des programmes destinés à tous les niveaux d'expérience, étant donné que le but du simulateur par réalité virtuelle n'est pas de remplacer l'apprentissage au bloc opératoire, mais d'être un facteur de sécurisation des pratiques médicales, où l'accident n'est plus tolérable.

#### **4) Motivation à court et à long terme des résidents à suivre des cursus de formation en simulation pour maintenir les compétences acquises dans le temps :**

Les compétences techniques acquises grâce à la formation par simulation en réalité virtuelle, peuvent être perdues en absence de formation continue. Un essai contrôlé randomisé de Dunn et al. [25] a conclu que le groupe qui a bénéficié du programme de simulation n'a pas maintenu les gains développés après 1 an sans formation.

Ainsi, en l'absence d'une formation continue, les compétences chirurgicales se dissiperaient certainement. Par conséquent, la simulation en RV régulièrement pratiquée permettrait de garder et d'entretenir les acquis techniques.

Il est impératif de motiver les résidents à utiliser le simulateur de RV de manière régulière durant la formation en fixant des objectifs à atteindre et suivre leur évolution.

Notre revue de la littérature nous a permis de voir que les résidents en formation accepteraient ce type d'entraînement.

En effet, un autre essai contrôlé randomisé récent de Walbron et al. [26] a évalué la motivation des résidents ayant suivi un programme de 6 mois sur le simulateur ArthroS de VirtaMed avec un minimum de 10 heures de pratique. Il leur a demandé à 2 reprises, avant et à la fin du programme, la question suivante « Si la simulation RV d'arthroscopie était obligatoire au cours du premier semestre, combien d'heures de formation souhaiteriez-vous avoir ? ». Ils ont déclaré qu'ils aimeraient avoir plus d'heures de formation sur le simulateur.

Au total, afin de maintenir les acquis techniques en arthroscopie, le caractère obligatoire des entraînements sur le simulateur est important pour assurer une formation continue.

## **5) Optimisation et sécurité de l'apprentissage au bloc opératoire via la simulation en réalité virtuelle :**

Un programme de formation de qualité doit se concentrer sur les compétences considérées comme les plus importantes pour pratiquer l'arthroscopie : connaissances anatomiques, la triangulation et la perception spatiale.

L'intégration de la simulation en arthroscopie peut supplanter la première partie de la courbe d'apprentissage alors que le transfert de la formation sur de vrais patients se situe à la 2<sup>ème</sup> partie de la courbe.

Certains CHU ont proposé des plans d'entraînement certifiés, pour optimiser l'apprentissage au bloc opératoire sans compromettre la sécurité des patients, comme le programme FLS (Fundamentals of Laparoscopic Surgery)[27] conçu pour évaluer les connaissances fondamentales et les compétences techniques en chirurgie laparoscopique. Ou encore le programme national de chirurgie par l'ACS/APDS (The American College of Surgeons/Association of Program Directors in Surgery)[28]

Plus explicitement, la formation par simulation en chirurgie ne permet pas de se préparer suffisamment aux situations inattendues qui peuvent survenir au cours d'une intervention chirurgicale, cependant elle peut raccourcir la durée des opérations et accroître la sécurité des patients tout en restant concentré sur l'acquisition des bases plutôt que sur le développement d'un éventail plus large de compétences et de connaissances.

#### IV. Limites de l'étude :

Notre étude portait sur un effectif assez important : 97 résidents au total, cependant nous avons pu recueillir que 31 réponses (32%).

Il y a plusieurs explications à ce faible taux de réponses. Les résidents ayant participé à l'étude sont dispersés dans les 7 CHU du royaume (Marrakech, Agadir, Casablanca, Fès, Oujda et Rabat). Le questionnaire a été envoyé en ligne, il se peut que certains résidents n'aient pas vu la notification de l'e-mail. L'événement s'est déroulé dans une camionnette en dehors des services de traumatologie-orthopédie et il était parfois difficile pour certains résidents de grade ou au bloc opératoire pour pouvoir bénéficier de leurs journées de formation.

Le temps consacré au module d'arthroscopie par participant durant l'événement était limité ce qui a constitué une limite à l'évaluation objective de l'acquisition des compétences.

En effet, l'événement n'était qu'une simple initiation à la simulation en RV en arthroscopie, aucun programme de formation n'a été envisagé au préalable pour cibler l'acquisition des compétences durant cet événement.



# *Recommandations*



A travers notre travail on peut tirer les recommandations suivantes :

- Mettre en place un simulateur de réalité virtuelle pour l'apprentissage des compétences en arthroscopie, au profit de la FMPM et du centre hospitalier universitaire Mohamed VI.
- Etablir un programme de formation pour nos résidents en chirurgie orthopédique. Ce programme doit être adapté à tous les niveaux d'expertise ; des jeunes résidents aux ceux les plus expérimentés.
- Organiser des sessions de simulation de façon régulière pendant le cursus de formation des

- Rendre le programme obligatoire pour les résidents, pour assurer un bon maintien des acquis techniques.
- Adopter le simulateur comme outil d'évaluation des résidents dans leurs examens de fin de cursus, et comme outil de formation continue pour les chirurgiens diplômés.
- Prévoir dans le futur des études explorant l'impact de cette formation dans la pratique de l'arthroscopie.





# *Conclusion*



Notre étude montre des appréciations globalement positives auprès des participants qui ont testé le simulateur de réalité virtuelle. De plus, nos résultats mettent en évidence que la majorité des participants jugent leur formation actuelle en arthroscopie insuffisante, ce ressenti, qui est national et ne considère pas uniquement notre CHU Mohamed VI, puisque la camionnette de simulateur était en tournée aux 7 facultés du royaume. L'apprentissage de l'arthroscopie par simulation en réalité virtuelle peut donc être envisagé pour optimiser la formation des résidents en traumatologie orthopédie.

Un simulateur de réalité virtuelle représente un investissement financier important, mais va permettre de pallier au manque de disponibilité d'interventions et de cas d'arthroscopie au service de traumatologie orthopédie, essentiellement pour les autres articulations en dehors du genou. Il peut s'agir aussi bien d'un outil de formation initial pour les jeunes résidents permettant d'acquérir des connaissances anatomiques et des compétences techniques de bases, que d'un outil d'entraînement pour des chirurgiens expérimentés. Les résultats de notre étude sont en faveur de l'intégration d'un module de simulation en réalité virtuelle dans la formation en arthroscopie, parallèlement à l'apprentissage par compagnonnage au bloc opératoire déjà existant.

Cependant, il est impératif de poursuivre les efforts engagés pour pallier au retard qu'a pris l'arthroscopie par rapport à ses disciplines sœurs dans l'utilisation de cette modalité de formation et pour intégrer au mieux la simulation dans le cursus de formation des résidents en chirurgie orthopédique ce qui permettra, à terme, d'améliorer et d'homogénéiser leurs performances, tout en diminuant les coûts de ce long apprentissage, tout en améliorant significativement la sécurité des patients.



# *Résumés*



## Résumé :

L'arthroscopie est une technique chirurgicale mini-invasive en plein essor, dont l'acquisition est considérée comme un élément-clé de la formation en chirurgie orthopédique. Cependant, ce système d'enseignement et d'acquisition des compétences connaît certaines limites, car dans notre contexte comme ailleurs, le nombre de gestes arthroscopiques réalisés durant la période de résidanat reste limité, et ne peut conduire au développement de ces compétences. Par ailleurs cette période initiale d'apprentissage présente un taux accru de complications chez les patients, qui peuvent être parfois irréversibles.

Face à cette situation, la simulation en arthroscopie est devenue une méthode incontournable pour l'acquisition et le maintien de compétences en dehors du bloc opératoire, afin d'améliorer la qualité et la sécurité des gestes dans l'intérêt du patient, suivant l'objectif éthique « jamais la première fois sur le patient », d'autant plus que l'arthroscopie nécessite une longue courbe d'apprentissage, et l'une des premières compétences qui doivent être acquise le plutôt possible est la capacité à se repérer dans l'espace.

L'objectif principal de notre étude est de déterminer l'utilité du simulateur haute-fidélité dans l'acquisition des compétences en arthroscopie, afin de contribuer à l'élaboration d'une stratégie de formation de nos résidents en chirurgie orthopédique.

Il s'agit d'une étude descriptive longitudinale prospective, sollicitée suite à un événement de journées de simulation « surgical simulation tour » organisé par le CHU Mohammed VI et la FMPM (via le centre de simulation et d'innovation en science de la santé) en partenariat avec les sociétés Metec et VirtaMed et basée sur un questionnaire de satisfaction anonyme délivré à la fin de chaque journée.

Notre échantillon inclus 97 résidents en traumatologie-orthopédie, qui ont exploré le simulateur de réalité virtuelle ArthroS FAST, Genou et épaule.

Le taux de réponse au questionnaire était de 32%, avec 100% des participants de sexe

masculin et 61,3% appartenant à la tranche d'âge 29-32 ans.

La majorité des participants se trouvait être en début de formation. 90,3% des résidents en traumatologie orthopédie jugent leur formation actuelle en arthroscopie insuffisante.

Les jugements des résidents au cours de l'étude ont été très positifs avec 93,5% qui recommanderaient cette formation aux autres résidents en orthopédie.

Pour les moyennes des scores de satisfaction globale sur une échelle qui va de 1 à 5 (pas du tout d'accord à tout à fait d'accord) : les résidents étaient satisfaits de cette formation 64,5% de réponses positives (41,9% sont d'accord et 22,6% sont tout à fait d'accord) ; avec une impression subjective du réalisme positive à 58% (41,9% sont d'accord et 16,1% sont tout à fait d'accord) ; avec une évaluation de l'utilité pour leur formation positive à 87,1% (19,4% qui sont d'accord et 67,7% sont tout à fait d'accord) ; et une recommandation aux autres résidents à 93,5% de réponses favorables (12,9% sont d'accord et 80,6% sont tout à fait d'accord).

Les scores de réalisme du simulateur ont été notés à 70,9% favorables pour le graphisme (54,8% sont satisfaits et 16,1% sont très satisfaits); à 70,9% favorables pour l'instrumentation (54,8% sont satisfaits et 16,1% sont très satisfaits) ; à 71% favorables pour le feedback haptique (64,5% sont satisfaits et 6,5% sont très satisfaits) ; à 48,4% favorables pour l'ambiance sonore (41,9% sont satisfaits et 6,5% sont très satisfaits) ; et à 74,2% favorables pour l'immersion globale (64,5% sont satisfaits et 9,7% sont très satisfaits).

Cependant ; le volume horaire consacré à ces journées de simulation était insuffisant pour évaluer objectivement les performances des résidents sur le simulateur de réalité virtuelle et leur progression. Par conséquent, la discussion s'est appuyée sur les données de la littérature qui rapportent que l'intégration du simulateur de réalité virtuelle dans le cursus de chirurgie orthopédique améliore significativement les performances des résidents, essentiellement pour le genou qui a été exhaustivement étudié.

Notre travail représente un premier pas pour élucider le rôle optimal de la simulation de réalité virtuelle dans la formation des résidents en chirurgie orthopédique. Ceci incite à poursuivre les efforts engagés pour intégrer la simulation dans le cursus de formation des résidents en chirurgie orthopédique, afin d'optimiser l'apprentissage en arthroscopie tout en

diminuant le coût et en améliorant la sécurité des patients.

## **Abstract:**

Arthroscopy is a rapidly growing minimally invasive surgical technique, whose acquisition is considered a key element in orthopedic surgery training. However, this system of teaching and skill acquisition has certain limitations, as in our context as elsewhere, the number of arthroscopic maneuvers performed during the residency period remains limited, and cannot lead to the development of these skills. Furthermore, this initial learning period presents an increased rate of complications in patients, which can sometimes be irreversible.

In this situation, arthroscopic simulation has become an essential method for acquiring and maintaining skills outside the operating room, in order to improve the quality and safety of procedures in the interest of the patient, following the ethical objective "never the first time on the patient", especially since arthroscopy requires a long learning curve, and one of the first skills that must be acquired as soon as possible is the ability to orient oneself in space.

The main objective of our study is to determine the usefulness of the high-fidelity simulator in acquiring arthroscopic skills, in order to contribute to the development of a training strategy for our orthopedic surgery residents.

This is a prospective longitudinal descriptive study, requested following a "surgical simulation tour" event organized by the CHU Mohammed VI and the FMPM (through the Center for Simulation and Innovation in Health Sciences) in partnership with the Metec and VirtaMed companies and based on an anonymous satisfaction questionnaire delivered at the end of each day.

Our sample included 97 orthopedic residents who explored the ArthroS FAST, Knee and Shoulder virtual reality simulator. The response rate to the questionnaire was 32%, with 100% of the participants being male and 61.3% belonging to the age group 29–32 years. The majority of the participants were in the early stages of training. 90.3% of orthopedic trauma residents found their current arthroscopy training to be insufficient.



Residents' judgments during the study were very positive with 93.5% recommending this training to other residents in orthopedics. For the mean satisfaction scores on a scale ranging from 1 to 5 (from strongly disagree to strongly agree): Residents were satisfied with this training 64.5% of positive responses (41.9% agree and 22.6% strongly agree); with a positive subjective impression of realism at 58% (41.9% agree and 16.1% strongly agree); with a positive evaluation of its usefulness for their training at 87.1% (19.4% agree and 67.7% strongly agree); and a recommendation to other residents at 93.5% of favorable responses (12.9% agree and 80.6% strongly agree).

The realism scores of the simulator were rated at 70.9% favorable for graphics (54.8% satisfied and 16.1% very satisfied); 70.9% favorable for instrumentation (54.8% satisfied and 16.1% very satisfied); 71% favorable for haptic feedback (64.5% satisfied and 6.5% very satisfied); 48.4% favorable for sound atmosphere (41.9% satisfied and 6.5% very satisfied); and 74.2% favorable for overall immersion (64.5% satisfied and 9.7% very satisfied).

However, the allocated time for these simulation sessions was insufficient to objectively assess the performance of the residents on the virtual reality simulator and their progress.

Therefore, the discussion was based on the data from the literature which report that the integration of the virtual reality simulator into the orthopedic surgery curriculum significantly improves the performance of the residents, mainly for the knee which has been extensively studied.

Our work represents a first step towards elucidating the optimal role of virtual reality simulation in the training of orthopedic surgery residents. This encourages us to continue our efforts to integrate simulation into the training curriculum of orthopedic surgery residents in order to optimize arthroscopy learning while reducing cost and improving patient safety.



## ملخص:

تنظير المفصل هو تقنية جراحية طفيفة التوغل تنمو بسرعة، ويعتبر اكتسابها عنصرًا أساسيًا في التدريب على جراحة العظام. ومع ذلك، يواجه هذا النظام في التعليم واكتساب المهارات بعض القيود، حيث يظل عدد الحالات المنظرية التي يتم تنفيذها خلال فترة الإقامة محدود، ولا يمكن أن يؤدي إلى تطوير هذه المهارات. وعلاوة على ذلك، فإن هذه الفترة الأولية للتعلم تشهد ارتفاعًا في معدل حدوث المضاعفات لدى المرضى، والتي يمكن أن تكون في بعض الأحيان لا رجعة فيها

وفي هذا السياق، أصبحت المحاكاة بالمنظار وسيلة أساسية لاكتساب المهارات والحفاظ عليها خارج غرفة العمليات، من أجل تحسين جودة وسلامة الإجراءات لصالح المريض، وذلك تبعًا لهدف الأخلاقي "ليس أول مرة على المريض"، خاصة وأن تنظير المفصل يتطلب منحى تعليمي طويل، ومن المهارات الأولى التي يجب اكتسابها في أسرع وقت ممكن هي القدرة على التوجيه في الفضاء.

الهدف الرئيسي لدراستنا هو تحديد فائدة المحاكاة عالية الدقة في اكتساب تنظير المفصل، من أجل المساهمة في تطوير استراتيجية تدريب لمقيمي جراحة العظام لدينا.

تعتبر هذه دراسة وصفية طولية استشرافية، تم طلبها بعد حدث "جولة محاكاة جراحية" نظمها المركز الاستشفائي الجامعي محمد السادس وكلية الطب والصيدلة محمد السادس (من خلال مركز المحاكاة والابتكار في علوم الصحة) بالشراكة مع شركتي VirtaMed و Metec واستنادًا على استبيان مجهول الهوية يتم تسليمه في نهاية كل يوم.

عينتنا تضمنت 97 مقيمًا في جراحة العظام اختبروا محاكي الواقع الافتراضي ArthroS FAST والركبة والكتف. بلغ معدل استجابة الاستبيان 32%، وكان 100% من المشاركين ذكورًا و61.3% منتمين إلى الفئة العمرية 29-32 سنة. وكان غالبية المشاركين في مراحل مبكرة من التدريب.

وجد 90.3% من مقيمي جراحة العظام و 100% من مقيمي جراحة العظام في المنظار غير كافٍ. كانت تقييمات المقيمين خلال الدراسة إيجابية جدًا، حيث قام 93.5% منهم بتوصية هذا التدريب للمقيمين الآخرين في جراحة العظام.

بالنسبة لمتوسط نقاط الرضا على مقياس يتراوح من 1 إلى 5 (من الاختلاف الشديد إلى الاتفاق الشديد): كان المقيمون راضين عن هذا التدريب بنسبة 64.5% (41.9% يتفوقون و22.6% يتفوقون بشدة)؛ وكان لديهم انطباع إيجابي بشأن واقعية التدريب بنسبة 58% (41.9% يتفوقون و16.1% يتفوقون بشدة)؛ وكان لديهم تقييم إيجابي لفائدته في تعليمهم بنسبة 87.1% (19.4% يتفوقون و67.7% يتفوقون بشدة)؛ وقد قاموا بتوصية المقيمين الآخرين بنسبة 93.5% من الردود الإيجابية (12.9% يتفوقون و80.6% يتفوقون بشدة)

تم تقييم درجات واقعية المحاكى على النحو التالي: 70.9% تقييم إيجابي للرسومات (54.8% راضون و16.1% راضون جدا)؛ 70.9% تقييم إيجابي للأدوات الجراحية (54.8% راضون و16.1% راضون جدا)؛ 71% تقييم إيجابي لردود الفعل الحسية (64.5% راضون و6.5% راضون جدا)؛ 48.4% تقييم إيجابي لجو الصوت (41.9% راضون و6.5% راضون جدا)؛ و74.2% تقييم إيجابي للانغماس الشامل (64.5% راضون و9.7% راضون جدا).

ومع ذلك، فإن الفترة الزمنية المخصصة لأيام المحاكاة هذه لم تكن كافية لتقييم أداء المقيمين على المحاكى الافتراضي وتقديمهم بشكل موضوعي. لذلك، تمت مناقشة البيانات استنادًا إلى المراجع العلمية التي تفيد بأن دمج محاكي الواقع الافتراضي في منهجية تدريب جراحة العظام يحسن أداء المقيمين بشكل كبير، وخاصة في حالة الركبة التي تمت دراستها على نطاق واسع.

يمثل عملنا خطوة أولى نحو توضيح الدور الأمثل لمحاكاة الواقع الافتراضي في تدريب أطباء جراحة العظام. وهذا يشجعنا على مواصلة جهودنا لدمج المحاكاة في المناهج التدريبية للمقيمين في جراحة العظام من أجل تحسين تعلم تنظير المفاصل مع تقليل التكلفة وتحسين سلامة المرضى.



# *Annexes*



## **Annexe 1 : questionnaire de satisfaction :**

### **I. Caractéristiques démographiques des participants :**

- 1) Quel âge avez-vous ?
  - Entre 24 et 28ans.
  - Entre 29 et 32ans.
  - Entre 33 et 35ans.
  - Plus de 35ans.
- 2) Veuillez préciser votre sexe
  - Femme
  - Homme
- 3) Dans quelle ville exercez-vous ?
- 4) Vous êtes en quelle année de formation ?
  - 1<sup>ère</sup> année
  - 2<sup>ème</sup> année
  - 3<sup>ème</sup> année
  - 4<sup>ème</sup> année
  - 5<sup>ème</sup> année
  - Autre
- 5) Vous êtes (main dominante) ?
  - Droitier.
  - Gaucher.

### **II. Niveau de connaissance des participants en arthroscopie :**

- 1) Comment jugez-vous votre niveau en arthroscopie ?
  - Débutant
  - Intermédiaire
  - Bon
- 2) Jugez-vous votre information en arthroscopie est suffisante ?
  - Oui
  - Non
- 3) Avez-vous eu l'occasion de tester le simulateur de RV auparavant ?
  - Oui
  - Non
- 4) Si oui, combien de fois ?

### **III. La satisfaction globale du déroulement de la journée :**

Veuillez cocher la case qui correspond à votre appréciation pour chaque item sur une échelle de 1 à 5 :

1= Pas du tout d'accord

2= Pas d'accord

3= Neutre

4= D'accord

5= Tout à fait d'accord

- 1) Etes-vous satisfait de cette formation ?
- 2) Cela vous a-t-il paru proche de la réalité ?
- 3) Cela vous a-t-il paru un outil de formation efficace ?
- 4) Recommandez-vous cette formation aux autres collègues ?

**IV. Evaluation du niveau de réalisme du simulateur de la réalité virtuelle :**

Veillez cocher la case qui correspond à votre appréciation pour chaque item sur une échelle de 1 à 5 :

1 = Très insatisfait(e)

2 = Insatisfait(e)

3 = Neutre

4 = Satisfait(e)

5 = Très satisfait(e)

- 1) Quel est le degré du réalisme des graphiques (software) ?
- 2) Quel est le degré du réalisme du matériel (hardware) ?
- 3) Quel est le degré du retour de sensation (Feedback haptique) ?
- 4) Quel est le degré du réalisme sonore ?
- 5) Quel est le degré d'Immersion globale ?

**V. Commentaires et suggestions des participants :**

- 1) Citez les avantages du simulateur de réalité virtuelle :
- 2) Citez les Inconvénients du simulateur de réalité virtuelle
- 3) Que pensez-vous de l'état actuel de l'apprentissage de l'arthroscopie au Maroc ?
- 4) Avez-vous des remarques ou des suggestions pour améliorer l'apprentissage de l'arthroscopie ?

## Annexe 2 : Fiche technique ArthroS (1)



**VirtaMed ArthroS™**

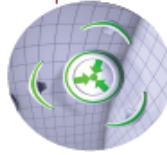
The most advanced and comprehensive arthroscopy simulator available



In 2013 the Fundamentals of Arthroscopic Surgery Training (FAST) program was developed with the goal of improving and standardizing surgical education in the field of arthroscopy. VirtaMed has an exclusive partnership with Sawbones, and their FAST dome has been adapted for virtual reality simulation offering exciting new training opportunities: surgeons can now learn the basic skills needed before applying them in a joint.

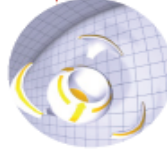
### Learning objectives

- Control camera movements and center an image
    - Practice deliberate linear scope movements
    - Track a moving target with the scope
  - Control image orientation (i.e. camera horizon)
    - Correctly use the angled optics (i.e. periscoping)
  - Perform basic triangulation
    - Minimize unnecessary movement of the scope
    - Find, grasp and manipulate objects
- Cases**
- 8 cases and almost 100 exercises for camera navigation: image centering, horizon control and periscoping, following an object
  - 8 cases and almost 100 exercises for basic bi-manual skills: triangulation, probing, and grasping



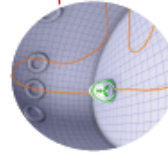
### Image Centering

Get familiar with horizon alignment and image steadiness



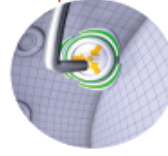
### Camera Alignment

Correctly perform camera alignment using both portals



### Object Tracking

Visualize, track and center a moving object



### Triangulation

Practice triangulation skills by combining the camera and a probe. Probing tasks.

### Hardware

- FAST workstation also comes with eight non-VR Sawbones workstation components
- Instruments adapted for virtual reality provide metrics to measure performance
- Supports ambidextrous training with 90-degree adapter plate



Exclusive and preferred training partner of  
**AANA** ARTHROSCOPY ASSOCIATION  
 OF NORTH AMERICA



## VirtaMed ArthroS™ Knee ACL Reconstruction

The Concepts of ACL Reconstruction module is an advanced addition to the ArthroS™ Knee. All relevant procedure steps of an anatomical ACL reconstruction can be performed.

### Trainees will learn

- Navigate the 3D anatomy of the knee joint in relation to the relevant landmarks for ACL reconstruction.
- Consequences and effects of tunnel placement and graft positioning.
- Mastery of correct graft positioning, a skill paramount to safe and effective ACL reconstruction.
- Correctly use the following instruments: grasper, probe, punch, tibia targeting tool, and shaver.



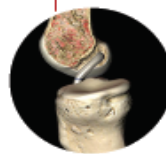
### Cases

- 2 cases for concept training: main principles of ACL reconstruction and anatomical concepts.
- 4 cases for therapeutic arthroscopy: complete ACL tear (guided and unguided), complete ACL rupture, and partial ACL rupture with knee instability.



### ACL Basic Skills

Learn basic ACL biomechanics, principles of ACL reconstruction, and mechanisms of injury



### Anatomical Concepts

Identify the anatomical landmarks, concepts, and kinematics of the ACL. Understand consequences of graft malpositioning



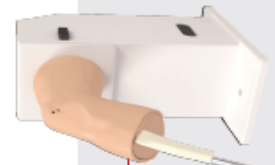
### Guided Therapeutic Case

Step-by-step guided ACL reconstruction, patient in a chronic state with a complete ACL tear



### Unguided Therapeutic Cases

Perform ACL reconstructions for complete and partial ACL ruptures, with chronic and subacute patients



### Hardware

- Anatomic right knee model allows for physical manipulation of the knee joint, including varus and valgus, flexion, and extension
- Original instruments adapted for virtual reality provide metrics to measure performance
- Internal structures such as bones and tendons provide learning-essential haptic feedback

## VirtaMed ArthroS™ Knee

Trainees have the chance to perform complete diagnostic arthroscopic interventions on numerous and diverse patient cases. Mastering these basic tasks enables trainees to perform a complete knee arthroscopy more easily, efficiently and safely.

### Courses

- Knee Basic Skills Course
- Knee Course in Diagnostics
- Knee Advanced Course in Diagnostics
- Knee Advanced Course
- AANA Knee Course
- Balgrist Knee Arthroscopy Course

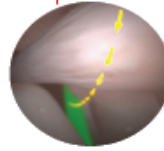
### Cases

- 14 cases for basic skills training: guided diagnostics, triangulation, and therapeutic arthroscopies
- 19 cases for diagnostic arthroscopy: different meniscus lesions, unhappy triad, arthrosis grade I-IV, synovitis
- 11 cases for therapeutic arthroscopy: different meniscus lesions, combined arthrosis and tears, synovitis, and loose body removals



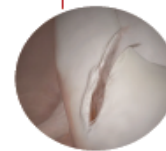
### Arthroscopy Basic Skills

Learn instrument handling and triangulation skills while avoiding cartilage damage



### Guided Diagnostic Tours

Get familiar with the arthroscopic anatomy and learn to visualize relevant structures



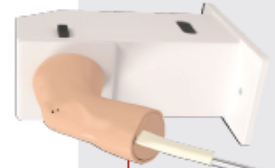
### Diagnostic Cases

Visualize and palpate various pathologies in the knee joint including arthrosis, meniscus lesions, etc.



### Therapeutic Cases

Master different complete therapeutic procedures such as meniscectomy or loose body removal



### Hardware

- Anatomic right knee model allows for physical manipulation of the knee joint, including varus and valgus, flexion, and extension
- Original instruments adapted for virtual reality provide metrics to measure performance
- Internal structures such as bones and tendons offer learning-essential haptic feedback

## VirtaMed ArthroS™ Shoulder

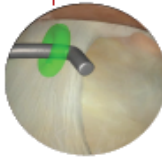
Includes guided basic skill training cases, integrated into a realistic simulation. Mastering these basic tasks enables trainees to perform a complete shoulder arthroscopy.

### Courses

- Shoulder Basic Skills Course
- Shoulder Course in Diagnostics
- Shoulder Advanced Course in Diagnostics
- Shoulder Advanced Course
- AANA Shoulder Diagnostic Training Course
- Balgrist Shoulder Arthroscopy Course

### Cases

- 12 cases for basic skills training: guided diagnostic tour of the glenohumeral and subacromial spaces, instrument triangulation, and joint palpation
- 14 cases for diagnostic arthroscopy: healthy 15-point anatomy exam, lesions of the rotator cuff (L-shaped and crescent-shaped supraspinatus tears, subscapularis tear, (PASTA tear), SLAP lesions, Bankart lesions (anterior and posterior), and subacromial impingement syndrome
- 3 cases for therapeutic arthroscopy: subacromial decompression, subacromial debridement, and loose body removal



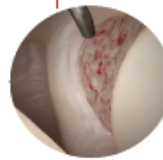
### Arthroscopy Basic Skills

Learn instrument handling and triangulation skills while avoiding cartilage damage



### Guided Diagnostic Tours

Get familiar with the arthroscopic anatomy and learn to visualize the relevant structures



### Diagnostic Cases

Visualize various pathologies in the shoulder joint including impingements and calcification.



### Therapeutic Cases

Master complete procedures such as loose body removals or subacromial decompressions



### Hardware

- Anatomic right shoulder model with bones and tendons provides learning-essential haptic feedback.
- Allows for realistic manipulation of the joint, including traction and rotation
- Switch quickly between lateral decubitus and beach chair positions

## Real surgical instruments for OR-ready training

Trainees learn using original instruments specially adapted for simulation. This means that what they practice with is what they use in the operating room.



### Arthroscope

- Simulated fluid handling
- Focus wheel and functional buttons allow trainees to take images of the procedure which can be reviewed and used for debriefing
- Camera management, with 0, 30 and 70-degree optics available

### Shaver / Hooded Burr

- Operated with a foot pedal or buttons on the instrument
- Simulated suction
- Switches virtually between a shaver and hooded burr, giving trainees access to more instruments



### Grasper / Punch

- Instrument can switch virtually between a grasper and a punch
- Ambidextrous: accommodates both dominant and non-dominant hands.



### Probe / Electrocautery Device

- Multi-use device switches between a probe and electrocautery device
- Electrocautery device is pedal-operated and provides auditory feedback



### Guidewire

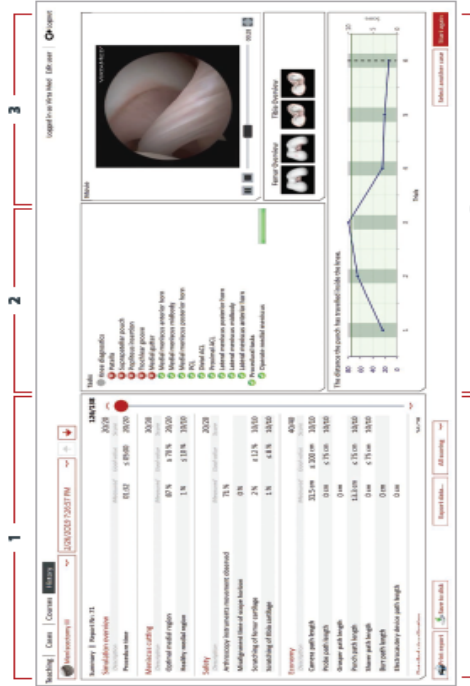
- Specially adapted for use in our hip module
- Used with our zero-radiation fluoroscopy to train correct portal placement

## Annexe 5 : Fiche technique ArthroS (4)

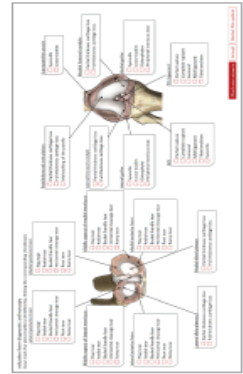
### Students progress faster with impartial feedback reports

Objective and detailed feedback reports provide information on all aspects of the completed case. Pre-defined benchmarks help students self-assess their progress and empower them to take control of their learning. Data is then stored on the simulator or in the cloud with ViraMed Connect and can be reviewed at any time.

- 1. Progress tracking**
  - Feedback reports are saved and can be reviewed by case and time
  - Trainers can easily access reports and view progress over time
- 2. Procedure task breakdown**
  - Debrief trainees on complete and incomplete tasks within the case
  - Trainees learn from mistakes with our severe error warnings
- 3. Videos and images**
  - The procedure is recorded and can be used along with photos for case review
  - Joint overviews highlights iatrogenic damage



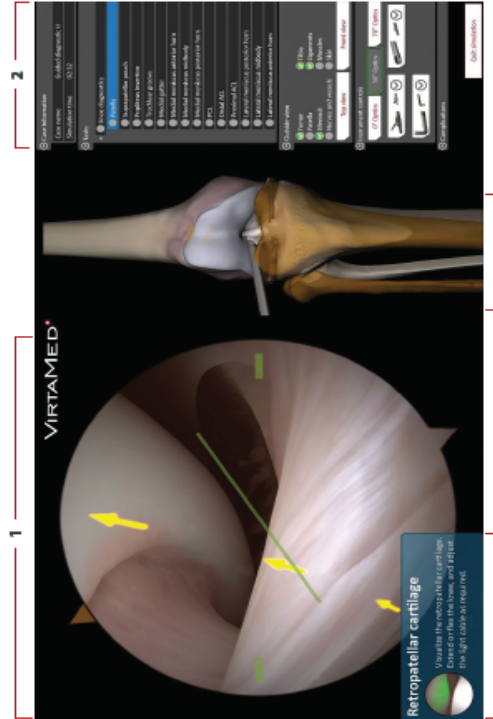
- 4. Individualized metrics**
  - Easily identify areas for improvement
  - Ensure trainees are up-to-standard with pre-defined proficiency scores
- 5. Interactive graphs**
  - Identify trends over time and track trainee progress at a glance with interactive graphs



**Demonstrable knowledge**  
Diagnostic cases contain an anatomical diagram and questionnaire which tests trainee knowledge of joint anatomy, pathology identification, and terminology.

### Software designed to make training faster and more effective

- 1. Arthroscopic view and learning guidance**
  - Photo-realistic camera view is identical to what trainees would see in the operating room.
  - Virtual structures can be palpated, shaved, and cut. Joints are movable and external movement is reflected in the arthroscopic view.
  - Guide arrows and horizon control to help trainees learn diagnostic tours and camera usage.
- 2. Task list, instrument access, and complications**
  - Tasks automatically check off, letting trainees know what is still left to complete.
  - Tasks can be selected for additional hints.
  - Switch between instruments with touch-screen controls
  - Complications can be added when trainees are ready.



- 3. Guidance and Severe Error Messages**
  - Step-by-step messages lead trainees through initial cases and provide basic instruction.
  - Severe error messages emphasize potential patient safety issues and costly damage to instruments.
- 4. Inside and outside views**
  - Trainees can orient themselves and their instruments to quickly learn triangulation and joint navigation.
  - Can be used to illustrate portal placement, and demonstrate the muscle and nerve structures of the joint.
  - Suggests external joint movements for best access.



*Bibliographie*



1. **Hall MP.**  
Assessment of Arthroscopic Training in U.S. Orthopaedic Surgery Residency Programs. *Bulletin of the NYU Hospital for Joint Diseases* n.d.:6.
2. **CSI2S.**  
Projet d'enseignement par simulation à la faculté de médecine et de pharmacie de Marrakech n.d.
3. **Pioger C, Harly É, Rattier S, Blancheton A, Loock E, Grob C, et al.**  
Arthroscopy training in France: A resident perception and self-assessment. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research* 2019;105:S397–402. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2019.09.013>.
4. **Flin R, O'Connor P, Mearns K.**  
Crew resource management: improving team work in high reliability industries. *Team Performance Management* 2002;8:68–78. <https://doi.org/10.1108/13527590210433366>.
5. **Nagendran M, Gurusamy KS, Aggarwal R, Loizidou M, Davidson BR.**  
Virtual reality training for surgical trainees in laparoscopic surgery. *Cochrane Database of Systematic Reviews* 2013. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD006575.pub3>.
6. **Azzolin L.**  
Mise en place et évaluation prospective d'un programme de formation à l'arthroscopie du genou sur un simulateur de réalité virtuelle. Thèse. Université de Bordeaux, 2017.
7. **Kotsis SV, Chung KC.**  
Application of the “See One, Do One, Teach One” Concept in Surgical Training: Plastic and Reconstructive Surgery 2013;131:1194–201. <https://doi.org/10.1097/PRS.0b013e318287a0b3>.
8. **Bridges M, Diamond DL.**  
The financial impact of teaching surgical residents in the operating room. *The American Journal of Surgery* 1999;177:28–32. [https://doi.org/10.1016/S0002-9610\(98\)00289-X](https://doi.org/10.1016/S0002-9610(98)00289-X).
9. **Farnworth LR, Lemay DE, Wooldridge T, Mabrey JD, Blaschak MJ, DeCoster TA, et al.**  
A comparison of operative times in arthroscopic acl reconstruction between orthopaedic faculty and residents: the financial impact of orthopaedic surgical training in the operating room n.d.:5.

10. **Baldwin P, Dodd M, Wrate R.**  
Junior doctors making mistakes. *The Lancet* 1998;351:804.  
[https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(05\)78931-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(05)78931-5).
11. **Rahm S, Germann M, Hingsammer A, Wieser K, Gerber C.**  
Validation of a virtual reality-based simulator for shoulder arthroscopy. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2016;24:1730–7. <https://doi.org/10.1007/s00167-016-4022-4>.
12. **Garfjeld Roberts P, Guyver P, Baldwin M, Akhtar K, Alvand A, Price AJ, et al.**  
Validation of the updated ArthroS simulator: face and construct validity of a passive haptic virtual reality simulator with novel performance metrics. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2017;25:616–25. <https://doi.org/10.1007/s00167-016-4114-1>.
13. **Barry Issenberg S, Mcgaghie WC, Petrusa ER, Lee Gordon D, Scalese RJ.**  
Features and uses of high-fidelity medical simulations that lead to effective learning: a BEME systematic review. *Medical Teacher* 2005;27:10–28.  
<https://doi.org/10.1080/01421590500046924>.
14. **HAS.**  
Rapport simulation en santé - HAS 2012.
15. **Pedowitz RA, Esch J, Snyder S.**  
Evaluation of a virtual reality simulator for arthroscopy skills development. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery* 2002;18:1–6.  
<https://doi.org/10.1053/jars.2002.33791>.
16. **Stunt JJ, Kerkhoffs GMMJ, van Dijk CN, Tuijthof GJM.**  
Validation of the ArthroS virtual reality simulator for arthroscopic skills. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2015;23:3436–42. <https://doi.org/10.1007/s00167-014-3101-7>.
17. **Fucentese SF, Rahm S, Wieser K, Spillmann J, Harders M, Koch PP.**  
Evaluation of a virtual-reality-based simulator using passive haptic feedback for knee arthroscopy. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2015;23:1077–85.  
<https://doi.org/10.1007/s00167-014-2888-6>.
18. **Rahm S, Wieser K, Wicki I, Holenstein L, Fucentese SF, Gerber C.**  
Performance of medical students on a virtual reality simulator for knee arthroscopy: an analysis of learning curves and predictors of performance. *BMC Surg* 2016;16:14.  
<https://doi.org/10.1186/s12893-016-0129-2>.

19. **Rahm S, Wieser K, Bauer DE, Waibel FW, Meyer DC, Gerber C, et al.**  
Efficacy of standardized training on a virtual reality simulator to advance knee and shoulder arthroscopic motor skills. *BMC Musculoskelet Disord* 2018;19:150. <https://doi.org/10.1186/s12891-018-2072-0>.
20. **Gallagher AG, Seymour NE, Jordan-Black J-A, Bunting BP, McGlade K, Satava RM.**  
Prospective, Randomized Assessment of Transfer of Training (ToT) and Transfer Effectiveness Ratio (TER) of Virtual Reality Simulation Training for Laparoscopic Skill Acquisition. *Annals of Surgery* 2013;257:1025–31. <https://doi.org/10.1097/SLA.0b013e318284f658>.
21. **Howells NR, Gill HS, Carr AJ, Price AJ, Rees JL.**  
Transferring simulated arthroscopic skills to the operating theatre: A RANDOMISED BLINDED STUDY. *The Journal of Bone and Joint Surgery British Volume* 2008;90-B:494–9. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.90B4.20414>.
22. **Cannon WD, Garrett WE, Hunter RE, Sweeney HJ, Eckhoff DG, Nicandri GT, et al.**  
Improving Residency Training in Arthroscopic Knee Surgery with Use of a Virtual-Reality Simulator: A Randomized Blinded Study. *The Journal of Bone and Joint Surgery-American Volume* 2014;96:1798–806. <https://doi.org/10.2106/JBJS.N.00058>.
23. **Ledermann G, Rodrigo A, Besa P, Irarrázaval S.**  
Orthopaedic Residents' Transfer of Knee Arthroscopic Abilities from the Simulator to the Operating Room: *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons* 2020;28:194–9. <https://doi.org/10.5435/JAAOS-D-19-00245>.
24. **Gallagher AG, Ritter EM, Champion H, Higgins G, Fried MP, Moses G, et al.**  
Virtual Reality Simulation for the Operating Room: Proficiency-Based Training as a Paradigm Shift in Surgical Skills Training. *Annals of Surgery* 2005;241:364–72. <https://doi.org/10.1097/01.sla.0000151982.85062.80>.
25. **Dunn JC, Belmont PJ, Lanzi J, Martin K, Bader J, Owens B, et al.**  
Arthroscopic Shoulder Surgical Simulation Training Curriculum: Transfer Reliability and Maintenance of Skill Over Time. *Journal of Surgical Education* 2015;72:1118–23. <https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2015.06.021>.

26. **Walbron P, Common H, Thomazeau H, Hosseini K, Peduzzi L, Bulaid Y, et al.**  
Virtual reality simulator improves the acquisition of basic arthroscopy skills in first-year orthopedic surgery residents. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research* 2020;106:717–24. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2020.03.009>.
27. **Derossis AM, Fried GM, Abrahamowicz M, Sigman HH, Barkun JS, Meakins JL.**  
Development of a Model for Training and Evaluation of Laparoscopic Skills n.d.
28. **Scott DJ, Dunnington GL.**  
The New ACS/APDS Skills Curriculum: Moving the Learning Curve Out of the Operating Room. *J Gastrointest Surg* 2008;12:213–21. <https://doi.org/10.1007/s11605-007-0357-y>.





## قسم الطبيب

### أقسم بالله العَظِيمِ

أن أراقبَ الله في مِغْتَبِي

وأن أهُونَ حياةَ الإنسانِ في كَافَّةِ أَصْوَارِهَا في كلِّ الصُّروفِ

والأحوالِ بِلَائِهِ وَسُعْرِ فِي انْقِلَابِهَا مِنَ الْعَلَاكِ وَالْمَرَضِ  
وَالألمِ وَالقَلْقِ

وأن أَحْفَظَ لِلنَّاسِ كَرَامَتَهُمْ، وَأَسْتُرَ عَوْرَتَهُمْ، وَأَكْتُمَ سِرَّهُمْ

وأن أكونَ عَلَى الكَوَامِرِ مِنْ وَسَائِلِ رَحْمَةِ اللَّهِ بِلَائِهِ رِعَايَتِي الصَّيِّبَةِ

للقريبِ والبعيدِ، للصالحِ والصالِحِ، والصديقِ والعدوِّ

وأن أثابَ عَلَى صِلْبِ العِلْمِ، وَأَسْخَرَهُ لِنَفْعِ الإنسانِ لَا لِأَنفَاذِهِ

وأن أوقِرَ مَنْ عَلمَنِي، وَأَعَلِّمَ مَنْ يَصْغُرُنِي، وَأكونَ أَخْتًا لِكُلِّ زَمِيلٍ

في المِهْنَةِ الصَّيِّبَةِ مُتَعَاوِنِينَ عَلَى البِرِّ وَالتَّقْوَى

وأن تكونَ حَيَاتِي مِصْدَاقَ إِيمَانِي فِي سِرِّي وَعَلَانِيَتِي

نَقِيَّةً مِمَّا يَشِينُهَا قَبْلَهُ اللَّهُ وَرَسُولُهُ وَالْمُؤْمِنِينَ

والله على ما أقول شهيد







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

أطروحة رقم 225

سنة 2023

## فائدة المحاكاة القائمة على تقنية الواقع الافتراضي في تعلم جراحة التنظير المفصلي بالمغرب

### الأطروحة

قدمت ونوقشت علانية يوم 2023/06/16  
من طرف

**الآنسة نعمة مبشور**

المزودة في 25 أكتوبر 1995 بلدار البيضاء أنفا

**لنيل شهادة الدكتوراة في الطب**

الكلمات الأساسية :

تعلم – تنظير المفصل – محاكاة – الواقع الافتراضي

### اللجنة

الرئيس

**السيد ع. عبكري**

أستاذ في جراحة العظام والمفاصل

المشرف

**السيد م. أ. بنهيمه**

أستاذ في جراحة العظام والمفاصل

الحكام

**السيدة ح. الهوري**

أستاذة في جراحة العظام والمفاصل

**السيد ع. مركاد**

أستاذ في جراحة العظام والمفاصل