



جامعة أبو بكر بلقايد - تلمسان

Université Abou Bakr Belkaïd de Tlemcen

Faculté de Technologie

Département de Génie Biomédical

MEMOIRE DE PROJET DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du Diplôme de

MASTER en GENIE BIOMEDICAL

Spécialité : Imagerie Médicale

Présenté par : **BENABDALLAH LINA & BELKACEM MERIEM**

Segmentation du plan osseux des IRM du genou

Soutenu le 07 juillet 2021 devant le Jury

Mr. BOUKLI	HACEN ISMAIL	<i>MCA</i>	Université de Tlemcen	Président
Mme	FEROU AMEL	<i>MCA</i>	Université de Tlemcen	Examinatrice
Mme	KHEMIS KAMILA	<i>MCA</i>	Université de Tlemcen	Encadreur

Année universitaire 2020-2021

Remerciement

Avant tout, nous remercions الله le tout puissant de nous avoir donné la force, la volonté ainsi que la santé et la paix de l'esprit sans quoi nous n'aurons pas pu achever ce travail.

Nous adressons de chaleureux remerciements à notre encadreur *Madame Loudjedi Kamila*, pour nous avoir encadrés, orientés, aidés, et conseillés.

Nous remercions également toute l'équipe pédagogique de l'université *Abou Baker Belkaid*, département de *Génie Biomédical*.

Nous adressons nos sincères remerciements à tous les professeurs, ayant intervenu par leurs conseils, leurs critiques, leurs encouragements et ayant accepté de nous rencontrer et répondre à nos questions durant la réalisation de ce projet.

Nous remercions aussi l'anatomiste docteur *Baba Asia* qui nous a toujours réservé le meilleur accueil malgré ses obligations professionnelles.

Nous adressons nos chaleureux remerciements aux doctorantes du département GBM *Saim Meriem* (Zineb, Hafida et Chaimaa) pour leurs gentilles et précieuses aides, Durant la réalisation de ce projet.

Nous remercions le centre d'imagerie médicale *Dr. Abdelhali* qui nous ont acceptés dans leur clinique et nous remercions vivement les ingénieurs de la clinique (*Amina, Yousef, Hayat*) et *Dr. Laaoudj* pour leur aide, leur accueil, leurs conseils, leur interprétation, leur gentillesse.

Nos vifs remerciements vont aussi à Mr BOUKLI HACEN ISMAIL Qui a accepté de présider le jury de soutenance ainsi qu'à Mme FEROUJ AMEL qui a accepté de participer en qualité d'examineur dans ce jury.

Enfin nous remercions toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire.

Dédicaces

J'ai le plaisir de dédier ce modeste travail,

A mon père, qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privation pour m'aider à avancer dans la vie, puisse DIEU faire en sorte que ce travail porte son fruit, MERCI pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanent venu de toi.

A ma mère qui m'a soutenu et encouragé durant ces années d'études. Qu'elle trouve ici le témoignage de ma profonde reconnaissance.

A mon très cher frère **ABDESSAMED**, et à mes sœurs **MARWA** et **ASMA** et mon adorable petite sœur **RABAB** qui sait toujours comment procurer la joie et le bonheur pour toute la famille. Que DIEU les protèges et leur offre la chance et le bonheur.

A mon grand-père et mes grand-mères que DIEU leurs donne une longue et joyeuse vie.

A ma chère amie et binôme **BELKACEM MERIEM** pour son soutien moral, sa patience et sa compréhension tout au long de ce projet et à toute sa famille.

A ma famille et toutes les personnes que j'aime.

A tous les malades auxquels nous souhaitons un prompt rétablissement.

BENABDELLAH LINA

Dédicaces

J'ai le plaisir de dédier ce modeste travail,

A mon père, qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privation pour m'aider à avancer dans la vie, puisse DIEU faire en sorte que ce travail porte son fruit, MERCI pour les valeurs noble, l'éducation et le soutien permanent venu de toi.

A ma mère qui m'a soutenu et encouragé durant ces années d'études. Qu'elle trouve ici le témoignage de ma profonde reconnaissance.

A ma très chère sœur **NOUR EL HOUDA**, et mon adorable petite sœur **SARRA** qui sait toujours comment procurer la joie et le bonheur pour toute la famille. Que DIEU les protèges et leur offre la chance et le bonheur.

A mon grand-père que DIEU le donne une longue et joyeuse vie.

A ma chère amie et binôme **BENABDELLAH LINA** pour son soutien moral, sa patience et sa compréhension tout au long de ce projet et à toute sa famille.

A ma famille et toutes les personnes que j'aime.

A tous les malades auxquels nous souhaitons un prompt rétablissement.

BELKACEM MERIEM

TABLE DES MATIERES

Remerciement	02
Dédicaces.....	03
Tables des matières	05
Listes des figures	07
Liste des tableaux	08
Listes des abréviations	09
Résumé	10
Abstract	10
Introduction générale.....	11
Chapitre I : l'anatomie du genou	12
I .Introduction.....	13
I.1 Anatomie du genou.....	13
I.1.1 Les surfaces articulaires.....	13
I.1.2 La trochlée fémoral.....	14
I.1.3Condyles fémoraux	14
I.1.4 Surface patellaire.....	14
I.1.5 Les condyles tibiaux.....	14
I.1.6 Les ménisques	15
I.1.6.1 Ménisque latéral.....	15
I.1.6.2 Ménisque médial.....	15
I.2 Les moyens d'unions	16
I.2.1 Capsule articulaire	16
I.2.2 La membrane synoviale	16
I.2.3 Les ligaments articulaires	17
I.2.3.1 Ligaments antérieurs.....	18
I.2.3.2 Ligaments croisés.....	19
I.2.4. Les muscles de la patte d'oie	21
I.2.4.1 Muscle sartorius.....	22
I.2.4.2 Le demi tendineux.....	23
I.2.4.3 Le muscle gracile.....	23
I.3 Les pathologies du genou	26
I.3.1 Le syndrome rotulien.....	26
I.3.2 La lésion méniscales du genou	27
I.3.3 fracture de la rotule et des plateaux tibiaux	28
I.3.4 Les fractures des plateaux.....	28
I.3.5 Entorse du genou	29
I.3.6 Rupture des ligaments croisés antérieur (LCA).....	29
I.3.7 Gonarthrose	30
I.4 L'imagerie par résonance magnétique.....	31
I.4.1 Principe de l'IRM	32
I.4.2 L'imagerie par résonance magnétique du genou	32
I.4.3. Protocole utilisé	32
I.5 Conclusion.....	33

Chapitre II : Traitement et analyse d'image.....	34
II.1 Introduction	35
II.2 Définition d'une image	35
II.2.1 L'image de format DICOM.....	36
II.3 Les étapes du traitement d'images	36
II.3.1 Acquisition d'image.....	36
II.3.2 Prétraitement	36
II.3.3 La segmentation	36
II.4 Réduction de bruit par filtrage.....	37
II.4.1 Filtres linéaires.....	38
II.4.2 Les filtres non linéaires	38
II.4.2.1 Filtre médian.....	38
II.4.2.2 Rehaussement de contraste par laplacien.....	38
II.5 Les méthodes morphologiques	38
II.5.1 La dilatation	39
II.5.2 L'érosion.....	39
II.5.3 L'ouverture.....	39
II.5.4 La fermeture.....	40
II.6 La segmentation	40
II.6.1 Segmentation fondée sur les contours.....	41
II.6.2 Segmentation fondée sur les régions	41
II.6.2.1. Seuillage par histogramme	41
II.6.2.2 La segmentation par croissance de régions.....	41
II.6.2.3 La segmentation par classification non supervisé	42
II.6.2.3.1 K-means.....	42
II.6.2.3.2 Fuzzy c-means FCM.....	42
II.6.2.4 Segmentation par la ligne de partage des eaux	43
I.7 Etat de l'art	44
II.7 Conclusion	44
CHAPITRE III : Matériel résultats et discussion	45
III. Introduction	46
III.1 Présentation de la base de données	46
III.1.1 Du format DICOM à format JPEG.....	49
III.2 Environnement de développement.....	49
III.2.1 Le langage de programmation MATLAB.....	49
III.2.2 Les avantages de MATLAB.....	50
III.3 Méthodologie et résultats.....	50
III.3.1 Méthode proposée.....	51
III.3.1.1 Prétraitement	52
III.3.1.2 La segmentation	54
III.3.1.2.1 La segmentation par seuillage.....	54
III.3.1.2.2 La Segmentation par classification (k-means).....	54
III.3.1.3 L'extraction de caractéristiques	55
III.3.1.4 La sélection automatique des régions	56
III.4 Interface graphique.....	56
III.5 Discussion.....	60
III.6 Conclusion.....	61
Conclusion générale	62

LISTES DES FIGURES

Figure I.1 : Genou.....12

Figure I.2 : Les condyles fémoraux.....13

Figure I.3 : Les condyles Tibiaux14

Figure I.4 : Les ménisques externes et internes.....14

Figure I.5 : Les ménisques latéraux et médiaux15

Figure I.6 : Schéma montrent la capsule articulaire et le liquide synovial16

Figure I.7 : Ligaments collatéraux et croisés17

Figure I.8 : Rétinaculum médial de la patella.....18

Figure I.9 : Le pivot central (ligament croisé).....19

Figure I.10 : Ligament croisé antérieur (LCA).....20

Figure I.11 : Ligament croisé postérieur (LCP).....20

Figure I.12 : les muscles de la patte d’oie21

Figure I.13 : Schéma du sartorius22

Figure I.14 : Schéma du demi tendineux22

Figure I.15 : Schéma de l’origine du gracile.....23

Figure I.16 : Schéma du gracile distal23

Figure I.17 : Les tendons24

Figure I.18 : Rotule.....25

Figure I.19 : Tubérosité tibiale antérieure25

Figure I.20 : IRM révélant un syndrome rotulien26

Figure I.21 : IRM d’un genou présente un ménisque dégénératif27

Figure I.22 : Pathologie de l’appareil extenseur du genou.....28

Figure I.23 : Fracture de plateau tibial28

Figure I.24 : Entorse du genou29

Figure I.25 : Rupture du ligament croisé antérieur30

Figure I.26 : Gonarthrose du genou30

Figure I.27 : La machine d’IRM.....31

Figure I.28 : Antenne du genou33

Figure II.1 : Représentation la matrice (M, N).....35

Figure II.2 : Schéma d’un système de traitement d’images36

Figure II.3 : Application des filtres morphologiques41

Figure II.4 : Segmentation de l’encéphale par croissance de régions.....43

Figure II.5 : Ligne de partage des eaux.....44

Figure III.1 : Genou normale.....47

Figure III.2 : Epanchement minime intra articulaire.....47

Figure III.3 : Kyste poplité et fissure radiaire de corne postérieure du ménisque interne48

Figure III.4 : Angio lymphome synovial et synovite48

Figure III.5 : (a)Image DICOM, (b) Image JPEG.....49

Figure III.6 : Logo de MATLAB50

Figure III.7 : Schéma de principe de la méthode proposé51

Figure III.8 : Filtre Moyenneur52

Figure III.9 : Filtre Wiener53

Figure III.10 : Filtre médian.....53

Figure III.11 : Erosion.....53

Figure III.12 : Dilatation54

Figure III.13 : Ouverture et fermeture.....	54
Figure III.14 : Exemple des classes.....	56
Figure III.15 : Extraction des caractéristiques	56
Figure III.16 Extraction des régions	57
Figure III.17 : Interface graphique (Téléchargement de l'image).....	58
Figure III.18 : Interface graphique (Ajustement).....	59
Figure III.19 : Interface graphique (Filtrage).....	59
Figure III.20 : Interface graphique (Seuillage).....	60
Figure III.21 : Interface graphique (Classification).....	60
Figure III.22 : Exemple de comparaison entre la segmentation par classification et par seuillage	61
LISTE DES TABLEAUX	
Table III.1.....	55

LISTE DES ABREVIATIONS

CMJN : Cyan Magenta Jaune Noir
DICOM: Digital Imaging And Communications In Medicine
2D : Deux dimensions
3D : Trois dimensions
E1 : Entropie de l'image originale
E2 : Entropie de l'image filtrée
FCM : Fuzzy c-means
FOV: Field of View
GE : Général électrique
GUI : Graphical User Interface
ID : Identifiant
IRM : Imagerie par Résonance Magnétique
JPEG: Joint Photographic Experts Group
LCA : Ligament Croisé Antérieur
LCP : Ligament Croisé Postérieur
LFPM : Ligament Fémoropatellaire Médial
LMC : Ligament Collatéral Médial
LMPM: Ligament Méniscopatellaire Médial
LPE: Ligne de Partage des Eaux
MATLAB : Matrix Laboratory
MB : Matière Blanche
MG : Matière Grise
ML : Millilitre
MS : Milliseconde
NG : Niveau de Gris
PSNR: Peak Signal to Noise Ratio
RMN : Résonance Magnétique Nucléaire
SPGR: Systematizing Person-Group Relation
T: Tesla
T1, T2 : Les temps de pondération
TE : Temps d'écho
TR : Temps de Répétition
TTA : Tubérosité Tibiale Antérieure

Résumé

Ce travail se positionne dans le contexte de la pédagogie médicale pour l'apprentissage de l'anatomie humaine mais également dans le contexte de l'aide au diagnostic. Les objectifs visés au départ étaient la reconstruction 3D du genou après segmentation de l'ensemble de ses constituants tissulaires (os, muscle, ligament,) à travers toutes les coupes. Les contraintes de temps et de moyens nous ont poussés à nous limiter à la segmentation des structures osseuses. Nous avons travaillé avec des images IRM de 4 patients, 3 cas pathologiques et un cas sain. Nous avons développé, sous Matlab, un algorithme de traitement d'image du genou, en passant par les étapes de prétraitement puis de segmentation par une classification non supervisée (k-means) et par une segmentation par seuillage puis d'extraction de caractéristique (mesure de périmètre des différents os). Nous proposons une interface graphique avec choix des paramètres (seuil,...) dont l'algorithme a besoin pour s'adapter aux différentes images. En perspectives lorsque l'utilisateur aura segmenté l'ensemble des coupes, une reconstruction 3D sera possible. Ce qui permettra la visualisation précise du genou d'un patient. Ainsi nous aurons aidé le médecin dans son diagnostic et il sera également possible de simuler certains actes chirurgicaux.

Mots clefs : IRM, Genou, Segmentation, Prétraitement, Classification non supervisée.

Abstract

This work is positioned in the context of medical education for learning human anatomy but also in the context of diagnostic aid. The initial objectives were the 3D reconstruction of the knee after segmentation of all of its tissue components (bone, muscle, ligament, etc.) through all sections. The constraints of time and resources have pushed us to limit ourselves to the segmentation of bone structures. We worked with MRI images of 4 patients, 3 pathological cases and a healthy case. We have developed, under Matlab, an algorithm for image processing of the knee, going through the stages of preprocessing then classification by Unsupervised classification (k-means) then feature extraction (measurement of the perimeter of different bones). We offer a graphical interface with a choice of parameters (threshold, etc.) which the algorithm needs to adapt to the different images. In perspective, when the user has segmented all the sections, a 3D reconstruction will be possible. This will allow precise visualization of a patient's knee. Thus we will have helped the doctor in his diagnosis and it will also be possible to simulate certain surgical acts.

Keywords : MRI, Knee, Segmentation, Pretreatment, Unsupervised classification.

INTRODUCTION GENERALE

Le genou est une partie du corps humain très complexe composée de plusieurs structures telle que les os, les muscles, les ligaments ..., en plus le genou a des pathologies courantes liées à l'âge, au sport et au poids. La reconstruction 3D du genou constitue une aide précieuse pour une visualisation précise et personnalisée (pour chaque patient) permettant un meilleur diagnostic mais également une bonne orientation lors d'actes chirurgicaux. Cette reconstruction passe par la phase de segmentation et c'est cette partie du travail que nous allons traiter à travers ce projet de recherche. En plus, compte tenu de la complexité anatomique du genou nous nous limitons à la segmentation des structures osseuses.

Pour atteindre nos objectifs nous passons par l'étude de l'anatomie du genou, des méthodes de segmentation d'image qui s'adaptent au genou et également la nature des images médicales du genou, en effet actuellement le diagnostic des pathologies du genou se fait obligatoirement par des images IRM.

Ainsi, le travail que nous proposons est organisé de la manière suivante :

Le premier chapitre est consacré à l'anatomie du genou ainsi que ses pathologies et quelques notions de base sur l'imagerie par résonance magnétique.

Le chapitre suivant est dédié à la présentation théorique des méthodes de traitement et d'analyse d'images médicales dont la segmentation.

Le dernier chapitre représente les résultats obtenus et les perspectives envisagées.

A la fin nous allons terminer par une conclusion générale.

CHAPITRE I

Anatomie du genou

CHAPITRE I

I.INTRODUCTION

Dans notre projet de recherche nous nous intéressons à la segmentation des structures osseuses du genou, dans un but diagnostique et pédagogique.

Pour aborder ce projet nous allons rappeler l'anatomie du genou ainsi que la technique d'imagerie associée : l'imagerie par résonance magnétique.

I.1. Anatomie Du Genou

Le genou est un complexe articulaire important des membres inférieurs. C'est en effet le genou qui assure la jonction entre la cuisse (de la hanche jusqu'au genou) et la jambe (du genou à la cheville). On distingue les régions avant (région rotulienne) et arrière (région poplitée) du genou.

L'anatomie de l'articulation du genou consiste à examiner chacune des différentes structures à l'intérieur et autour du genou, l'articulation du genou est la plus grande et l'une des plus complexes du corps humain. Il est composé de deux articulations indissociables anatomiquement et biomécaniquement, Elles sont contenues dans les mêmes moyens d'unions.

Articulation fémoro-tibiale (bicondylienne avec ménisques interposés), elle intervient dans les mouvements de flexion extension et l'articulation fémoro-patellaire (trochléenne) constitue l'élément fondamental de l'appareil extenseur du genou. (Figure .I.1)

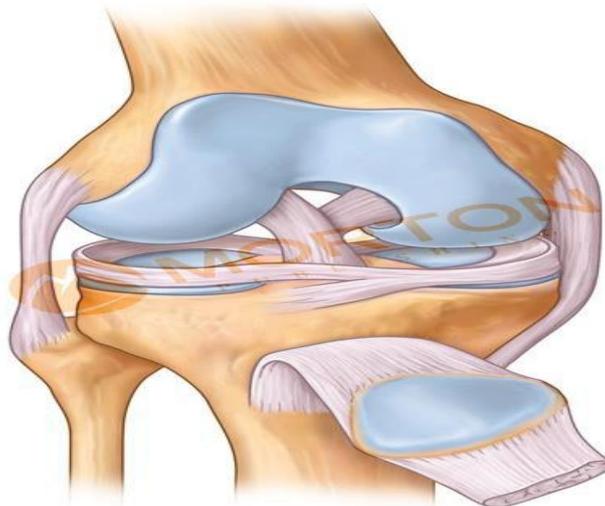


Figure I.1 : Genou

I.1.1 Les surfaces articulaires

Ils sont représentés par :

- Extrémité distale du fémur
- Plateau tibial (cavités glénoïdes)

CHAPITRE I

- Patella (face dorsal)
- Ménisques

I.1.2 La trochlée fémoral

Située sur le versant antérieur du fémur, possède une joue externe particulièrement saillante, elle forme butée contre la tendance naturelle de la rotule à se luxer en dehors, Elle s'articule avec la face postérieure de la rotule.

I.1.3 Condyles fémoraux

Ils sont au nombre de deux (Condyle médial et le condyle latéral) : Désigne une surface articulaire spirale, incurvée et enroulée sur elle-même, en bas elle s'articule avec les cavités glénoïdes par l'intermédiaire des ménisques et en avant avec la face dorsale de la patella. (Figure .I.2)

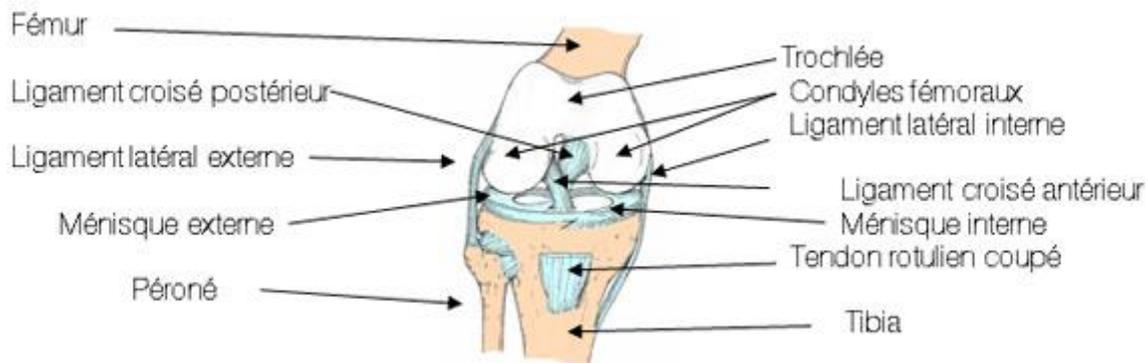


Figure I.2 : Les condyles fémoraux

I.1.4 Surfaces patellaire

La surface articulaire patellaire représente deux tiers supérieur de la face dorsal de la rotule, elle s'articule avec la trochlée fémorale

I.1.5 Les condyles tibiaux

Les cavités glénoïdes s'articulent avec les condyles fémoraux par l'intermédiaire des ménisques, et l'espace inter- glénoïdien occupé par les épines tibiales, c'est un espace d'insertion ligamentaire. (Figure .I.3)

CHAPITRE I

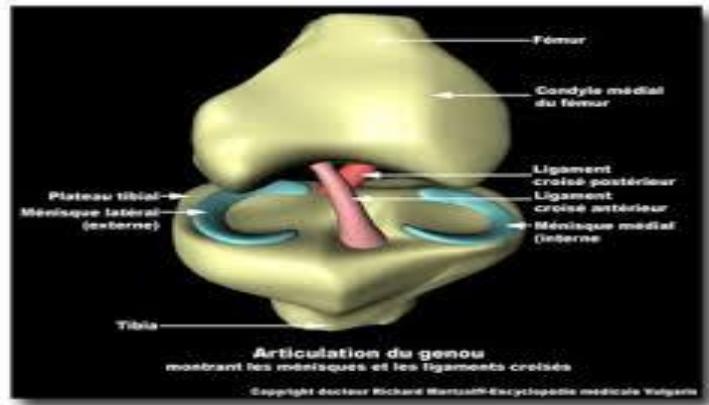


Figure I.3 : les condyles tibiaux

I.1.6 Les ménisques

Structures fibro-cartilagineuses semi-lunaires en forme de croissant, Interposés entre les condyles fémoraux et les glènes tibiales, ils sont au nombre de deux, un médial en forme de la lettre C et l'autre latéral en forme de la lettre O.

Chaque ménisque recouvre environ les 2/3 périphériques de chaque plateau tibial par leur surface distale.

Leur bord périphérique est convexe, épais et attaché à la capsule articulaire et leur bord central est fin et libre dans l'articulation.

Leurs rôles sont l'augmentation de la surface articulaire des cavités glénoïdes, l'amélioration de la congruence articulaire entre les condyles fémoraux et les plateaux tibiaux et la transmission des contraintes et absorption des chocs, du fait de ses propriétés viscoélastiques. (Figure .I.4)

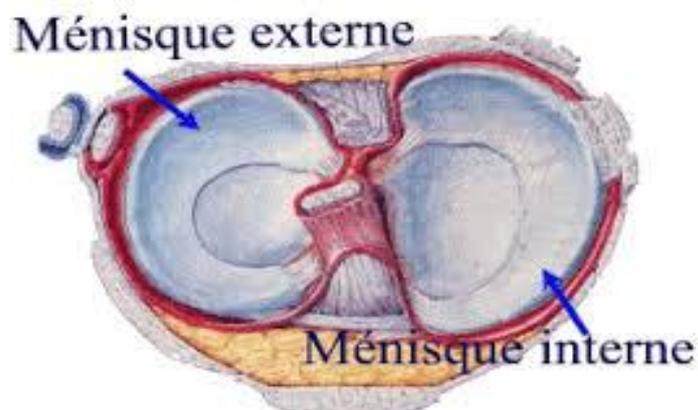


Figure I.4 : Les ménisques externes et internes

CHAPITRE I

I.1.6.1 Ménisque latéral

C'est un fibro-cartilage d'adaptation, il est presque fermé la forme de la lettre O avec une corne ventrale et une corne dorsale fixée par des freins méniscaux.

I.1.6.2 Ménisque médial

C'est un fibrocartilage d'adaptation entre le condyle médial et la cavité glénoïde médiale, il est plus ouvert que le latéral donc plus vulnérable, sous forme de la lettre C avec deux cornes au niveau de la surface pré-spinal et rétro-spinal. (Figure .I.5)

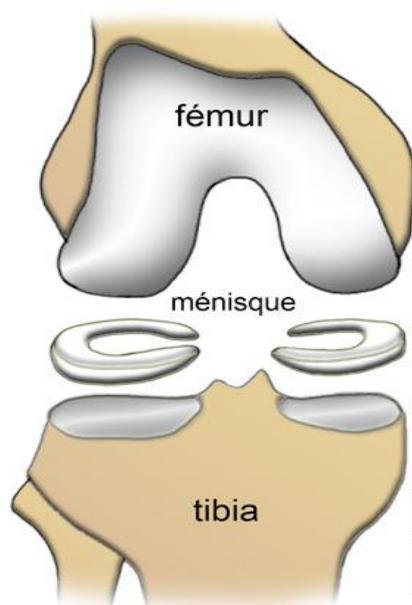


Figure I.5 : les ménisques latéraux et médiaux

I.2 Les moyens d'unions

Les moyens d'union des surfaces articulaires sont la capsule articulaire, la membrane synoviale et les ligaments articulaires.

I.2.1 Capsule articulaire :

La capsule articulaire du genou est une gaine fibreuse qui est séparée de la membrane synoviale par différentes structures. La capsule fibreuse est absente au-dessus et au niveau de la surface articulaire de la patella. Son absence est à l'origine d'une bourse supra patellaire qui est en communication avec la cavité articulaire.

Antérieurement, la capsule est renforcée par des expansions tendineuses, des muscles droits antérieurs et vastes médial et latéral du quadriceps.

CHAPITRE I

Elle comprend deux parties :

- Une partie externe fibreuse, la *membrane fibreuse*, d'épaisseur et de résistance variables
- Une partie interne, la *membrane synoviale*, qui tapisse la face interne de la capsule et les surfaces osseuses intra-articulaires non recouvertes de cartilage

I.2.2 La membrane synoviale

La membrane synoviale forme la cavité articulaire du genou. En dehors de la portion centrale qui est située entre les condyles fémoraux et les plateaux tibiaux, il existe trois culs-de-sac. Le récessus suprapatellaire ou sous-quadricipital s'étend verticalement au-dessus de la patella, entre le tendon quadricipital et la face antérieure du fémur. Les récessus fémoraux postérieurs sont situés derrière les condyles fémoraux en profondeur des muscles gastrocnémien médial et latéral. Le récessus sous-poplité se trouve entre le ménisque latéral et le tendon poplité.

Le liquide synovial : est un liquide biologique produit par la membrane synoviale. Ce liquide est visqueux, transparent ou jaune pâle, d'où son nom évoquant du blanc d'œuf cru. Il a notamment pour fonction de réduire la friction en lubrifiant l'articulation, d'absorber les chocs, de fournir de l'oxygène et des nutriments aux chondrocytes du cartilage articulaire et d'éliminer ces derniers le dioxyde de carbone et les déchets métaboliques. (Figure I.6)

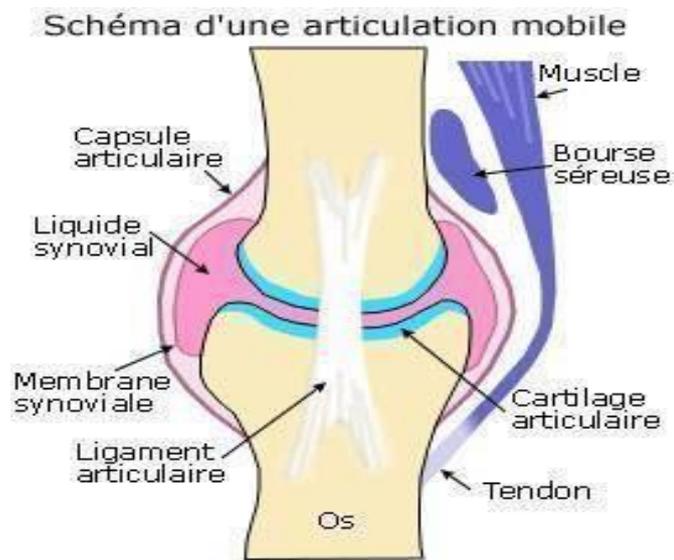


Figure I.6 : schéma montrant la capsule articulaire et le liquide synovial

I.2.3 Les ligaments articulaires

Les ligaments sont des cordons fibreux et résistants, constitués de tissu conjonctif contenant du collagène et des fibres élastiques. Les fibres élastiques permettent aux ligaments de s'allonger dans une certaine mesure. Les ligaments se trouvent de part et d'autre des articulations. Ils servent à relier les articulations entre elles. Ils permettent de renforcer et de

CHAPITRE I

stabiliser les articulations, ce qui permet le mouvement uniquement dans certaines directions. Les ligaments relient également les os entre eux.

En IRM, les ligaments et les tendons présentent un signal de faible intensité, se distinguant aisément des tissus graisseux avoisinants.

Selon leur situation topographique, on distingue : (Figure .I.7)

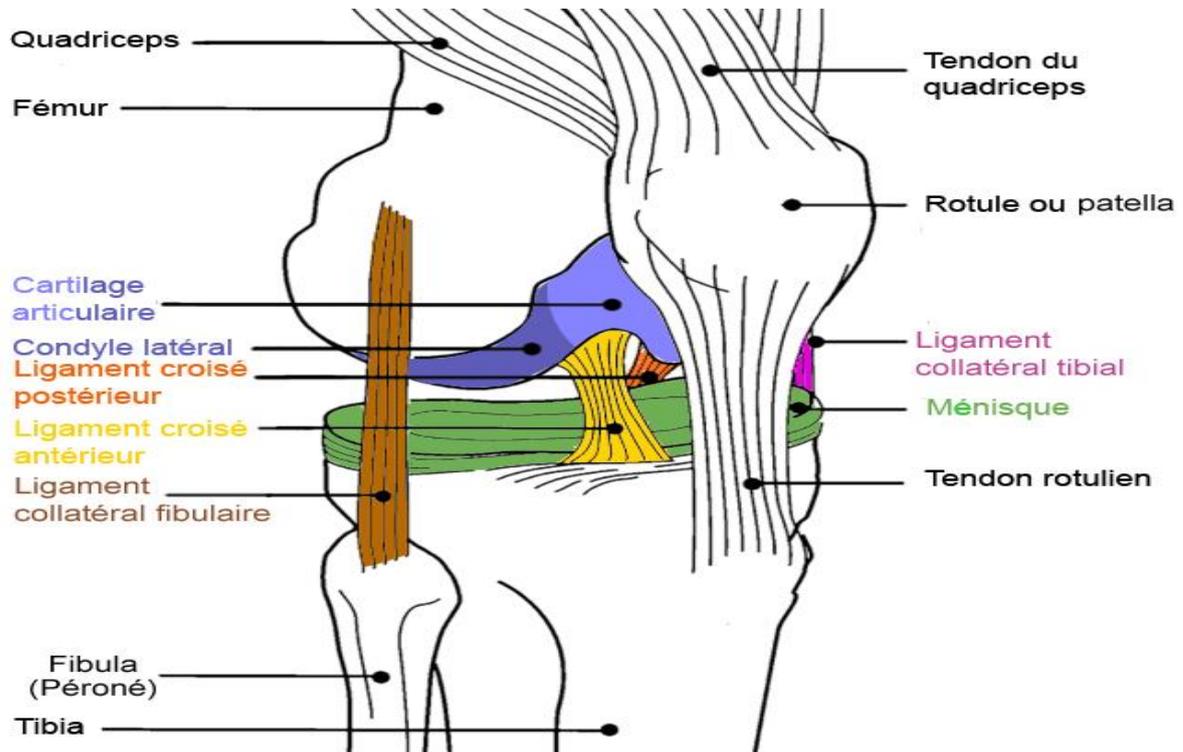


Figure I.7 Ligaments collatéraux et croisés

I.2.3.1 Ligaments antérieurs

On peut distinguer un plan capsulaire profond comprenant des ligaments qui peuvent être considérés comme des épaisissements de la capsule, les ailerons patellaires. Les ailerons sont deux lames fibreuses minces.

Ligament collatéral latéral : (Rétinaculum (aileron) patellaire latéral)

Il est constitué de deux chefs, superficiel et profond. Le chef superficiel prend son origine au niveau de la bandelette iliotibiale et de l'aponévrose du muscle vaste latéral et s'insère en avant sur le bord latéral de la patella et le tendon patellaire. Le chef profond est formé par différentes structures : le ligament transverse, le tractus tibiopatellaire et le tractus épicondylopatellaire. Le ligament transverse a une largeur de 1 à 2 cm et présente un trajet horizontal entre la portion profonde du tractus iliotibial jusqu' au bord latéral de la patella. Le tractus tibiopatellaire part de la patella, au bord inférieur du ligament transverse, et s'insère sur le tibia proximal et le ménisque latéral

CHAPITRE I

Le tractus épicondylopatellaire s'étend de la patella, au niveau du bord supérieur du ligament transverse pour s'insérer sur l'épicondyle latéral et le fascia inter musculaire.

Le ligament collatéral latéral est en relation étroite avec l'aileron patellaire latéral, mais n'en fait pas spécifiquement partie.

Les expansions tendineuses du quadriceps et l'aponévrose du tenseur du fascia latta forment un plan tendineux très adhérent aux rétinaculi patellaires (surtout au rétinaculum patellaire latéral)

Ligament collatéral médial : (Rétinaculum (aileron) patellaire médial)

Il a également une portion superficielle et profonde. Le chef superficiel résulte de la confluence des fibres du fascia entourant les muscles sartorius et vaste médial, des fibres du tendon du vaste intermédiaire et des fibres du chef superficiel du LCM. La partie profonde est constituée de trois ligaments ou épaissements aponévrotiques distincts : le ligament fémoropatellaire médial (LFPM), le ligament méniscopepatellaire médial (LMPM) et le ligament tibiopatellaire médial (LTPM). (Figure .I.8)

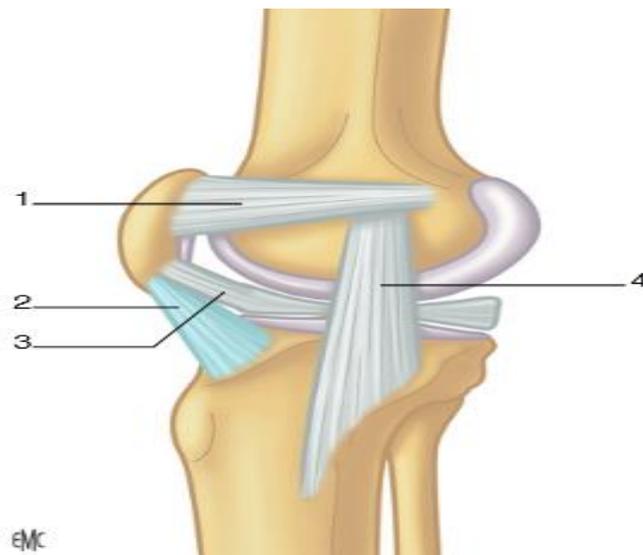


Figure I.8 : Rétinaculum médial de la patella.

Schéma des structures normales du rétinaculum médial de la patella. Le ligament fémoropatellaire médial (1) s'étend de la partie supérieure de la patella et s'insère entre l'épicondyle fémoral médial et le tubercule des adducteurs. Le ligament méniscopepatellaire médial(3) s'étend de partie inférieure de la patella jusqu'à la région méniscopecapsulaire, et le ligament tibiopatellaire médial(2) s'étend en direction du tibia en des sous de l'interligne articulaire. (4).Ligament collatéral médial.

Le LFPM : (le plus grand et le plus important cliniquement) naît entre l'épicondyle médial et le tubercule des adducteurs (zone appelée le point de Nomura) et se termine sur le bord médial de la patella où ses fibres fusionnent avec le tendon du vaste intermédiaire.

CHAPITRE I

Le LMPM : (autre stabilisateur important de la patella) s'étend obliquement du bord patellaire pour s'insérer sur le ménisque médial et le ligament coronaire.

Le LTPM : (stabilisateur moins important) part de la partie médiale de la patella jusqu'à la partie antéromédiale du tibia.

I.2.3.2 Ligaments croisés

Les ligaments croisés sont deux ligaments trouvés dans le genou. Le premier est appelé ligament croisé antérieur et le second est appelé ligament croisé postérieur. Ils sont ainsi nommés car ils se croisent au centre du genou. Leur fonction est de stabiliser le genou. Ils peuvent empêcher la rotule de glisser d'avant en arrière et peuvent également aider à contrôler la torsion du genou pour éviter la torsion. (Figure .I.9)

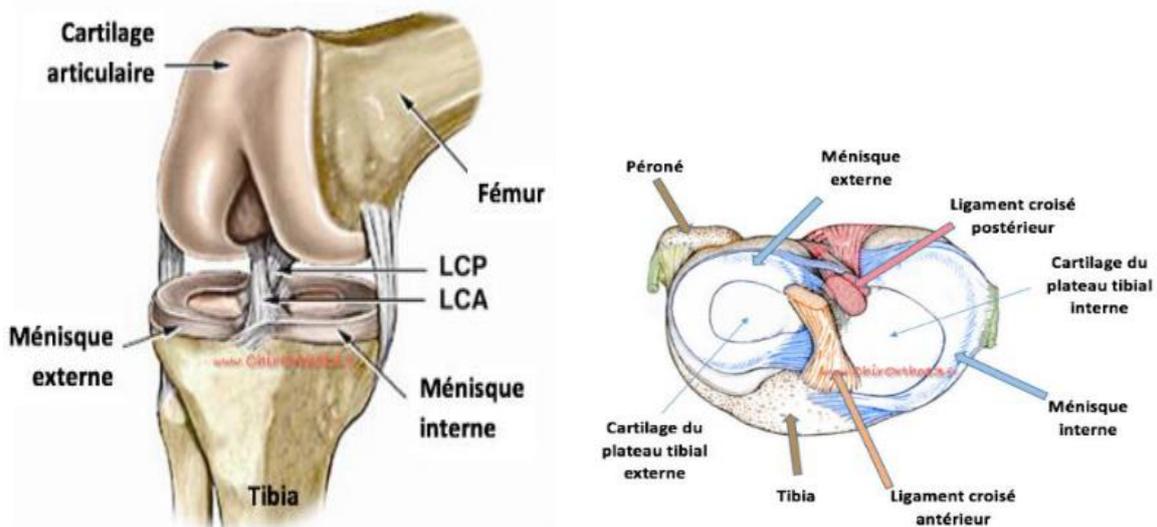


Figure I.9 : Le pivot central (ligaments croisés)

Le ligament croisé antérieur (LCA)

Il est situé au centre de l'articulation du genou, constituant le pivot central avec le ligament croisé postérieur. Il relie le fémur au tibia. Il est très solide, il s'étend obliquement du plateau tibial antérieur à la face médiale du condyle latéral et apparaît sous forme d'une fine bande hypo- signale souvent légèrement plus intense que le LCP.

Le LCA, généralement constitué de deux ou trois faisceaux principaux, a un trajet presque rectiligne. Ses faisceaux sont responsables des images linéaires hyposignales observées au niveau de l'insertion tibiale sur les coupes sagittales et frontales. (Figure .I.10)

CHAPITRE I



Figure I.10 : ligament croisé antérieur (LCA)

Ligament croisé postérieur(LCP)

Il est de signal faible ; il est plus épais et plus large que le LCA. Son trajet est courbe dans le plan sagittal et oblique dans le plan coronal. Il s'insère en arrière

A la partie postérieure de la fosse inter-condylienne et en avant sur la face médiale du condyle médial, au niveau de l'échancrure inter condylienne. Comme pour le LCA, l'insertion fémorale du LCP peut simuler une déchirure ligamentaire ou une lésion de l'os médullaire par effet de volume partiel. (Figure .I.11)

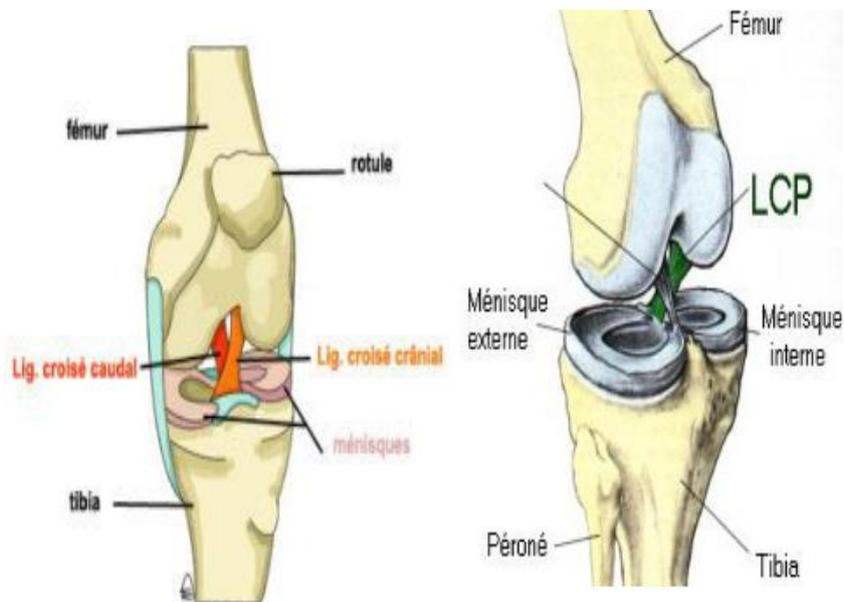


Figure I.11 : Ligament croisé postérieur (LCP)

CHAPITRE I

I.2.4 Les muscles de la patte d'oie

La tendinite de la patte d'oie est une inflammation des trois tendons des muscles constituant la « patte d'oie » situés à la partie supéro-interne du tibia.

Les muscles de la patte d'oie sont les muscles associés aux trois tendons qui s'accrochent à l'intérieur du genou. Ces 3 muscles sont tendus le long de la cuisse : le sartorius, le muscle gracile et le semi-tendineux. Ils stabilisent le genou en flexion, dans les côtes et les descentes. Le remarquable de la patte d'oie réside dans le fait que les 3 muscles précédemment cités proviennent de 3 loges différentes et sont innervés par 3 nerfs différents. (Figure .I.12)

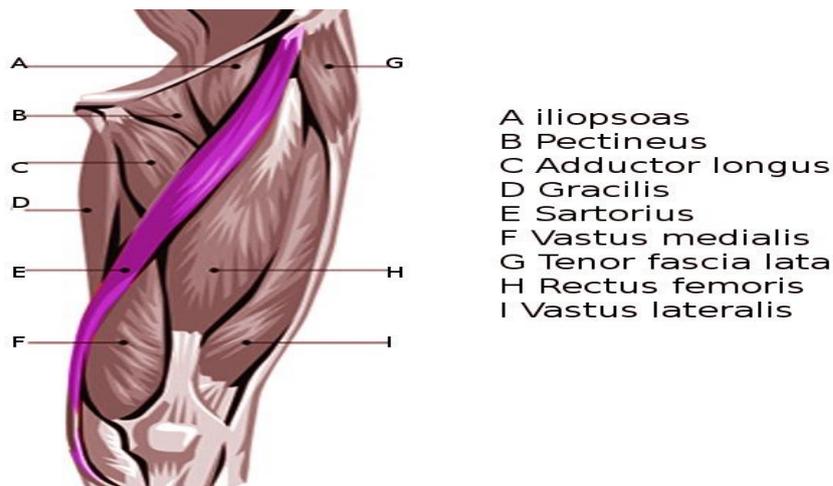


Figure I.12 : Les muscles de la patte d'oie

I.2.4.1 Muscle sartorius

Le muscle sartorius est situé au niveau de la cuisse, partie du membre inférieur situé entre la hanche et le genou, s'insère au niveau de l'épine iliaque antéro-supérieure, localisée au niveau de l'os ilion. Le muscle sartorius est un muscle squelettique, c'est-à-dire un muscle placé sous le contrôle volontaire du système nerveux central. Il constitue le muscle le plus long du corps et traverse obliquement la cuisse, il est innervé par le nerf fémoral

Le sartorius naît de l'épine iliaque antéro- supérieure, il prend un trajet oblique dans la face antérieure de la cuisse et s'insère en bas sur la patte d'oie superficielle en dedans de la tubérosité tibiale antérieure (TTA). Sa fonction est essentiellement celle d'une flexion du genou et d'une rotation interne de jambe ainsi qu'une flexion, rotation externe de cuisse. (Figure .I.13)

CHAPITRE I

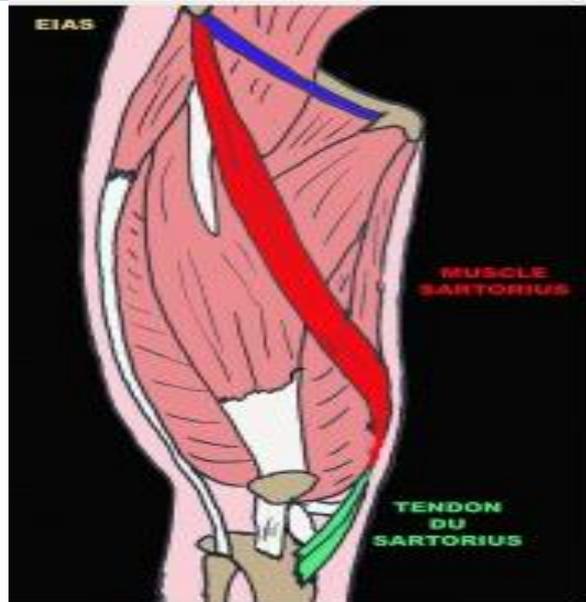


Figure I.13 : Schéma du Sartorius

I.2.4.2 Le demi-tendineux

Le demi-tendineux naît d'un tendon commun avec le long biceps à la tubérosité ischiatique, il prend un trajet descendant le long de la face interne de la cuisse et se termine à la partie superficielle de cette patte d'oie. La fonction de ce demi-tendineux est de permettre à la jambe de rouler en dedans par rapport au fémur en même temps qu'il fléchit le genou. (Figure .I.14)

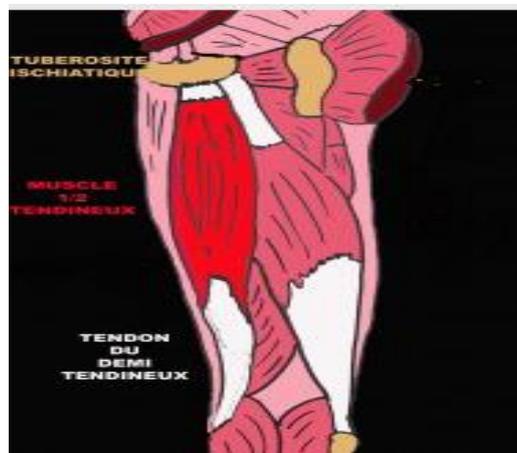


Figure I.14 : Schéma du demi-tendineux

CHAPITRE I

I.2.4.3 Le muscle gracile

Le gracile naît au niveau du pubis juste en dehors de la symphyse et prend un trajet vertical avec une insertion basse à la partie la plus postérieure de cette patte d'oie. Sa fonction est celle d'un fléchisseur de hanche et de genou. (Figure .I.15) (Figure .I.16)

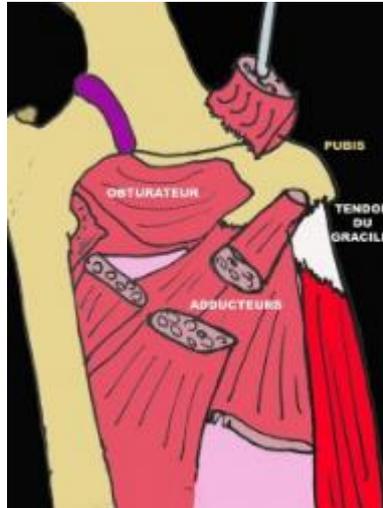


Figure I.15 : Schéma de l'origine du gracile



Figure I.16 : Schéma du gracile distal

Le tendon quadricipital : les tendons sont d'épais liens permettant aux muscles de s'insérer sur les structures osseuses, ce tendon s'étend du bassin et du fémur jusqu'au bord supérieur de la rotule, et il fait partie de l'appareil extenseur du genou, il participe à la dynamique des mouvements et à la stabilisation des articulations, il est situé sur l'avant du genou et il joue un rôle prépondérant dans les mouvements de flexion et d'extension du genou. (Figure .I.17)

CHAPITRE I

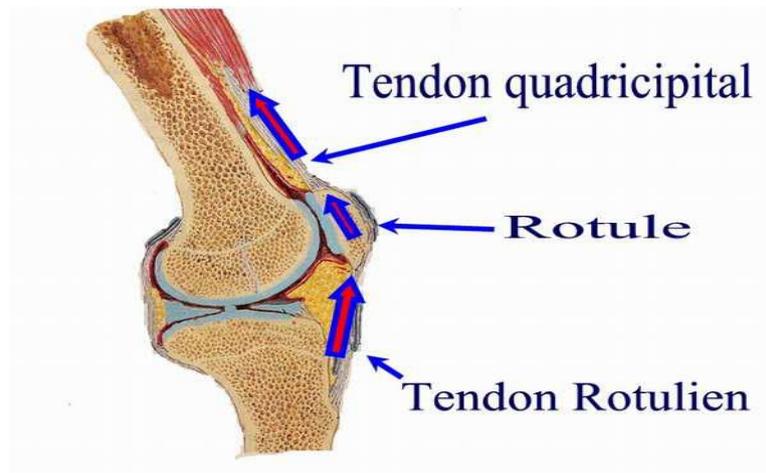


Figure I.17 : les tendons

Le tendon rotulien : est une structure fibreuse épaisse et extrêmement solide, qui s'étend de la pointe de la rotule jusqu'à la tubérosité tibiale antérieure, et relie la rotule à l'os du tibia. Il permet la transmission au tibia de l'action exercée par le muscle quadriceps sur la face supérieure de la rotule.

La rotule : est un os plat, il possède une forme triangulaire dont la base est orientée vers le haut et possède deux faces, la face antérieure cutanée, ainsi que la face postérieure recouverte de cartilages et formant une articulation avec le fémur.

Située dans la partie antérieure du genou, il s'insère dans le tendon du muscle quadriceps fémoral, sa partie inférieure ou apex est maintenue grâce au tendon patellaire, ses bords latéraux servent de lieux d'insertions aux muscles de la cuisse, ainsi qu'aux rétinaculum patellaire, structures fibreuses permettant de conserver les tendons contre les os, la rotule est également entourée de bourses séreuses, permettant un meilleur glissement des articulations.

Son rôle est de protéger l'avant de l'articulation du genou, l'insertion de la rotule lui permet d'agir sur la stabilité du genou lors des différents mouvements effectués par ce dernier et il joue un rôle essentiel dans les mouvements de flexion et d'extension du genou. (Figure .I.18)

CHAPITRE I

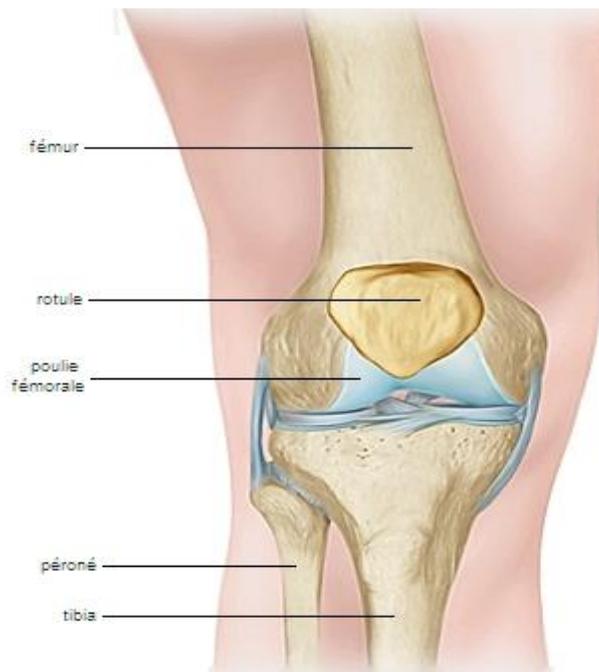


Figure I.18 : rotule

La tubérosité : est une proéminence osseuse située en avant du tibia à sa partie supérieure et sur laquelle s'insère le tendon rotulien permettant l'extension du genou lorsque l'appareil extenseur se met en tension.

La tubérosité tibiale antérieure ou TTA est impliquée dans plusieurs pathologies du genou comme les syndromes rotuliens ou les ostéocondrites de la TTA appelées aussi maladie d'osgood Shlatter de l'adolescent ou bien les tendinites du tendon rotulien. (Figure .I.19)

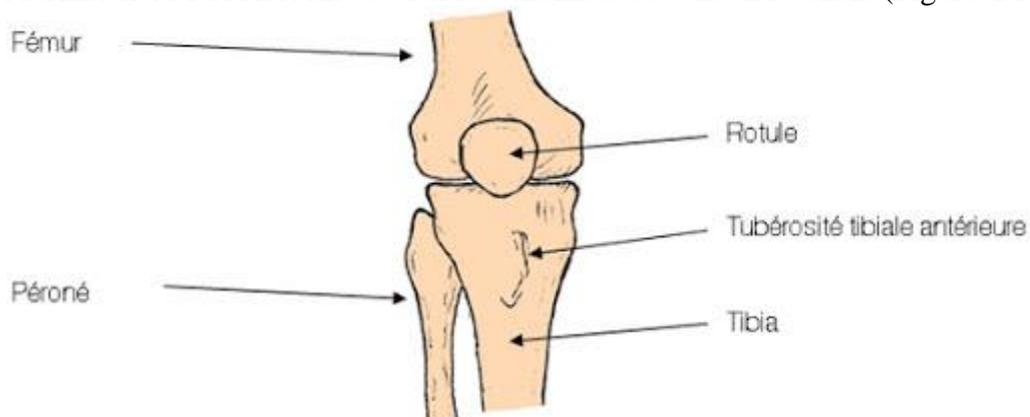


Figure I.19 : Tubérosité tibiale antérieure

CHAPITRE I

I.3 Les pathologies du genou

Les pathologies des genoux peuvent être en cause dans différentes affections. On distingue les pathologies d'ordre traumatique et les pathologies congénitales nous n'aborderons dans ce chapitre que les pathologies d'ordre traumatique.

I.3.1 Le Syndrome rotulien

C'est une pathologie du genou en rapport avec l'articulation entre la rotule et le fémur qui peut avoir des causes multiples, elle est une cause fréquente de consultation et ne répond pas à des données épidémiologiques définies telles que le sexe, l'âge, le sport pratiqué, les antécédents traumatiques..., donc les syndromes rotuliens sont classés en deux catégories :

Le syndrome douloureux qui peut être engendré par un choc direct, une torsion ou une pratique professionnelle ou sportive excessive, les facteurs favorisants sont une utilisation inhabituelle ou excessive de la rotule, une poussée de croissance, une surcharge pondérale ou par un déséquilibre musculaire.

L'instabilité rotulienne objective qui correspond à des luxations ou subluxations récidivantes, cette instabilité peut être favorisée par des anomalies morphologiques de la rotule ou de la trochlée fémorale.

Les symptômes :

Les personnes atteintes de cette maladie souffrent de douleurs dans la face antérieure du genou, les douleurs manifestent aussi pendant et après l'activité sportive et surtout pour les personnes qui pratiquent la natation, la course, le vélo et le ski.

Les personnes qui souffrent de cette maladie peuvent aussi ressentir de faux blocages du genou, des sensations d'instabilité et rarement une limitation de la mobilité rotulienne. (Figure .I.20)

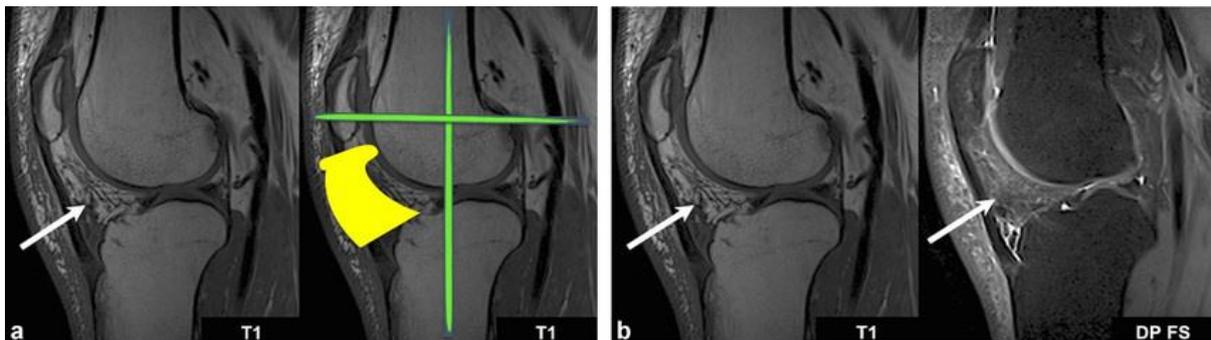


Figure I.20 : IRM révélant un syndrome rotulien

CHAPITRE I

I.3.2 La lésion méniscale du genou

C'est l'une des maladies les plus fréquentes du genou, qui se présente sous forme de fissures, pincement, déchirures ou désinsertions. On peut distinguer les lésions dues à un traumatisme de celles causées par une dégénérescence.

Les lésions traumatiques font suite à un accident elles affectent généralement des sujets jeunes ou sportifs, ce type de lésions peut aussi être provoqué par un mouvement de torsion du genou causé par la pratique du sport.

Les lésions dégénératives sont plus fréquentes chez les personnes âgées, il s'agit d'une usure naturelle du ménisque qui apparaît sous l'effet du vieillissement tissulaire, effectivement tout au long de la vie, les ménisques subissent des microtraumatismes répétés responsable de cette usure progressive, ces lésions apparaissent en premier temps sous forme d'une simple modification de la qualité du tissu méniscal et à un stade avancé, une fissure méniscale apparaît

Les lésions méniscales dégénératives sont considérées comme un stade précoce d'arthrose c'est ce qu'on appelle l'usure cartilagineuse. (Figure .I.21)

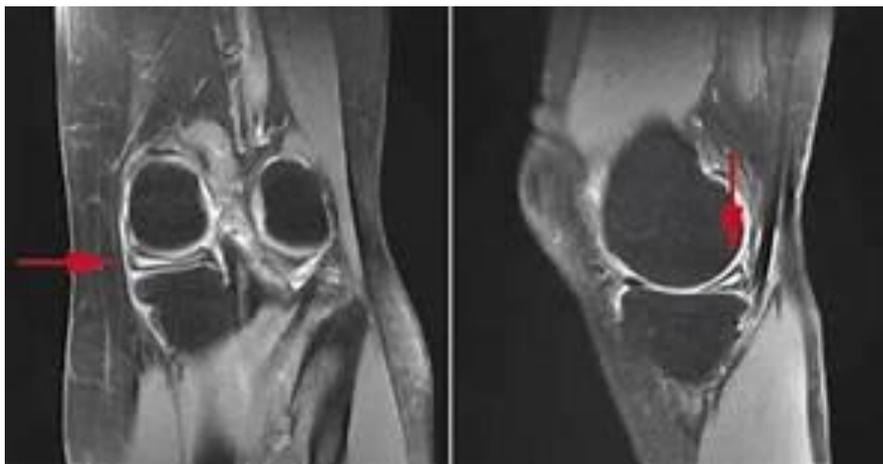


Figure I.21 : IRM d'un genou présentant un ménisque dégénératif

I.3.3 Fracture de la rotule et des plateaux tibiaux

La rotule est le plus gros os sésamoïde du corps, les fractures de rotule sont relativement rares elles surviennent le plus souvent par un mécanisme de choc direct ou lors d'un contact du genou en flexion avec le sol, l'appareil extenseur peut-être également rompu, on peut distinguer trois type de fractures : (Figure .I.22)

Types A : Fracture extra-articulaire avec rupture de l'appareil extenseur.

Types B : Fracture intra-articulaire sans lésion de l'appareil extenseur.

CHAPITRE I

Types C : Fracture intra-articulaire avec rupture de l'appareil extenseur.



Figure I.22 : pathologie de l'appareil extenseur du genou

I.3.4 Les fractures des plateaux

Ces fractures résultent de traumatismes axiaux, en torsion ou en flexion sur le genou, elles sont très fréquentes accompagner généralement avec une perte de la congruence de l'articulation du genou et un défaut d'axe.

Les symptômes révélant type de fracture, la douleur intense au genou, des œdèmes et parfois une déformation axiale, ainsi que la marche est impossible car toute pression sur le genou est extrêmement douloureuse. (Figure .I.23)



Figure I.23 : Fracture de plateau tibial

I.3.5 Entorse du genou

L'entorse du genou est une déchirure d'un ou de plusieurs ligaments d'une articulation ligamentaire provoquée par un traumatisme direct due à un mouvement anormal de la jambe, la gravité dépendra du type et de la nature des lésions. Les entorses graves du genou sont toujours traitées chirurgicalement suivi d'un traitement long chez le kinésithérapeute ainsi de reprendre le sport.

Les symptômes :

CHAPITRE I

- Douleur à type de déchirure.
- Craquement au moment de l'accident.
- Une sensation de déboîtement, avec l'impression que le genou part sur le côté pour ensuite revenir en place.
- Une instabilité de l'articulation du genou.
- Un gonflement plus ou moins important. (Figure .I.24)



Figure I.24 : Entorse du genou

I.3.6 Rupture du ligament croisé antérieur (LCA)

Le ligament croisé antérieur (LCA) est un ligament le plus souvent touché, il se rompt en général lorsque le genou subit une violente torsion, lors d'une mauvaise réception de saut, lors d'un mouvement forcé sur un genou fléchi et en torsion, ou lors d'une mauvaise réception sur un genou en hyper extension, causé dans la majorité des cas pendant les activités sportives comme la pratique du pivot, le football, le basket et le ski .

Les symptômes

- Bruit lors de la rupture ou craquement
- Difficulté de mettre du poids sur le genou et de marcher correctement
- Gonflement du genou
- Douleur aiguë
- Il est possible de voir apparaître un saignement sous la peau si d'autres ligaments sont impliqués dans la blessure (Figure .I.25)

CHAPITRE I

Rupture du Ligament Croisé Antérieur

Entorse Grave

Instabilité — Laxité Antérieure



Figure I.25 : Rupture du ligament croisé antérieur

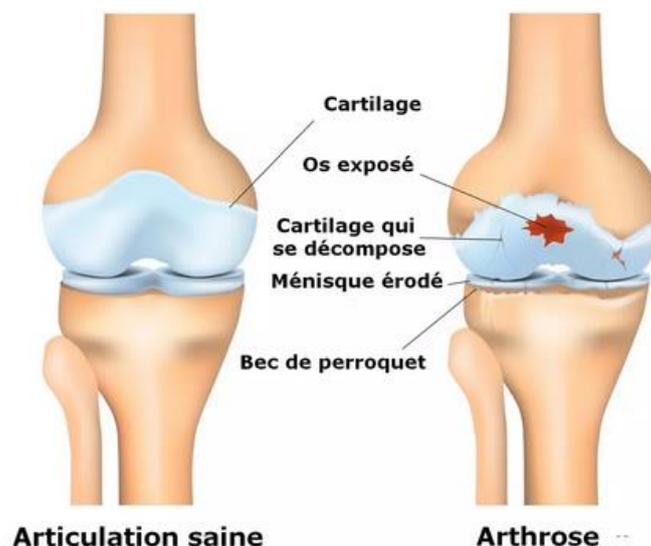
I.3.7 Gonarthrose

La gonarthrose désigne l'arthrose qui affecte l'articulation du genou. Cela se produit lorsque le cartilage qui protège l'articulation du genou se brise ou s'use progressivement, au fur et à mesure que le cartilage se rompt, les os entrent progressivement en contact direct les uns avec les autres. Cela peut provoquer une gêne lors du déplacement des jambes et provoque souvent une douleur intense.

Les symptômes :

- La douleur et la gêne dans les mouvements du genou
- Le gonflement
- La déformation arthrosique
- Les autres symptômes
- Les symptômes spécifiques de l'arthrose fémoro-patellaire
- Les symptômes spécifiques de l'arthrose fémoro-tibiale (Figure .I.26)

Arthrose du genou



CHAPITRE I

Figure I.26 : Gonarthrose du genou.

I.4 L'imagerie par résonance magnétique IRM :

L'imagerie par résonance magnétique est une technique d'imagerie médicale permettant d'obtenir des vues en deux ou en trois dimensions de l'intérieur du corps de façon non invasive avec une résolution en contraste relativement élevée. Cette technique nous permet d'obtenir des informations plus précises sur des lésions qui ne sont pas visibles sur les radiographies standards, le scanner ou l'échographie. (Figure .I.27)



Figure I.27 La machine d'IRM

I.4.1 Principe de l'IRM :

Son principe consiste à appliquer un champ B_0 intense sur le proton de noyau d'hydrogène des molécules d'eau de l'organisme, tous les atomes d'hydrogène s'orientent dans la même direction : ils sont alors excités par des ondes radio durant une très courte période et on obtient un signal RMN, puis on applique l'encodage spatial : c'est un gradient appliqué sur les 3 axes, finalement on applique la transformée de Fourier afin d'obtenir l'image IRM.

CHAPITRE I

L'intensité du signal observé va dépendre de la concentration dans l'eau mais aussi du temps de relaxation dans les spins nucléaires, il est aussi possible d'observer des alternances de tissu telle que les tumeurs grâce à la différence de densité et de relaxation des spins.

Le spin est en physique une des propriétés intrinsèque de particules anatomiques, tout comme la charge et la masse.

Les pondérations T1 et T2 sont des contrastes, dans une image pondérée en T1, la graisse apparaît hyper intense (claire), et l'eau hypo intense, et dans une image pondérée en T2 l'eau apparaît hyper intense (claire) et la graisse un peu plus sombre que l'eau.

I.4.2 L'imagerie par résonance magnétique du genou

L'IRM est l'examen de première intention dans le bilan de douleur du genou traumatique ou non, lorsque le bilan radiographique simple ne permet pas de déterminer la conduite thérapeutique.

L'objectif de l'utilisation de cette technique est la recherche de lésions méniscoligamentaires, aussi on peut rencontrer toute sorte de pathologie ostéoarticulaire allant de la lésion méniscale à la tumeur osseuse en passant par les pathologies rhumatismales et dégénératives.

I.4.3. Protocole utilisé

-Antenne genou (Figure I.28).

-Plan de coupe et pondération :

Sagittales T1

Sagittales

Frontales et axiales T2 en densité de proton (TE autour de 30 ms)

Saturation du signal de la graisse

Une séquence T1 avec injection de gadolinium : elle est indispensable en cas de tumeurs, de pathologie synoviale, d'arthrite inflammatoire ou infectieuse cette séquence T1 est souvent réalisée avec saturation du signal de la graisse afin d'améliorer la visibilité de la prise de contraste, mais avant ça il faut réaliser une séquence T1 classique avant d'injecter.

Une séquence T2 en écho de gradient dans les synovites villonodulaires pour la mise en évidence des pigments d'hemosidérine.

Une séquence 3D SPGR pour l'étude du cartilage articulaire

Une arthro-IRM pour le contrôle de ménisques opérés ou pour l'évaluation des lésions cartilagineuses : injection intra-articulaire de 10 à 20 ml d'une solution contenant du gadolinium dilué au 1/200e.

Le protocole d'examen inclut une séquence T1 avec saturation du signal de la graisse dans les trois plans de l'espace, une séquence sagittale T1 et sagittale T2 en densité de proton.

Une angio-IRM à la recherche d'une dissection de l'artère poplitée dans les luxations du genou.

CHAPITRE I



Figure I.28 Antenne du genou

I.5 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons donné certaines définitions sur les composantes anatomiques du genou. On a cité certaines pathologies qui peuvent affecter le genou et leurs symptômes. On a également décrit le protocole d'imagerie (Imagerie par résonance magnétique) pour le diagnostic des pathologies du genou, ce qui nous permettra, dans le chapitre suivant, de manipuler ces images (IRM du genou) avec une connaissance sommaire des constituants anatomiques qui y sont représentés (muscle, os ligaments, tendons,).

Comme on vient de le voir le genou a une anatomie très complexe et il sera vraiment difficile de distinguer automatiquement l'ensemble de ces structures, nous nous limiterons donc aux composantes osseuses.

CHAPITRE II

Traitement et analyse d'image

CHAPITRE II

II.1. Introduction

L'analyse et le traitement des images médicales est un processus qui regroupe les moyens d'acquisition et de restitution d'images du corps humain à partir de différents phénomènes physiques tels que l'absorption des rayons X, la résonance magnétique nucléaire, la réflexion d'ondes ultrasons ou la radioactivité, afin de pouvoir proposer un diagnostic ou un traitement pour des nombreuses pathologies.

L'analyse d'image assisté par ordinateur des images médicales représente un outil puissant pour la thérapeutique, et son développement peut aussi diminuer le temps de diagnostic ce qui implique des interventions thérapeutiques à temps pour sauver des vies, et même avec moins de médecins, et pour cette raison les pays développés investissent beaucoup pour ce développement.

Dans ce chapitre nous allons présenter certains concepts et méthodes concernant le traitement et l'analyse d'images et la segmentation des images médicales.

II.2. Définition d'une image

Une image et le nombre de pixels que comporte une image en largeur et en hauteur (nombre de colonnes et nombres de ligne), elle est aussi définie comme étant la reproduction exacte ou la reproduction analogique d'une scène réelle.

Une image numérique est une matrice de $M \times N$ de valeurs entières sur un intervalle borné $[0, Ng]$ où Ng est la valeur maximale du niveau de gris.

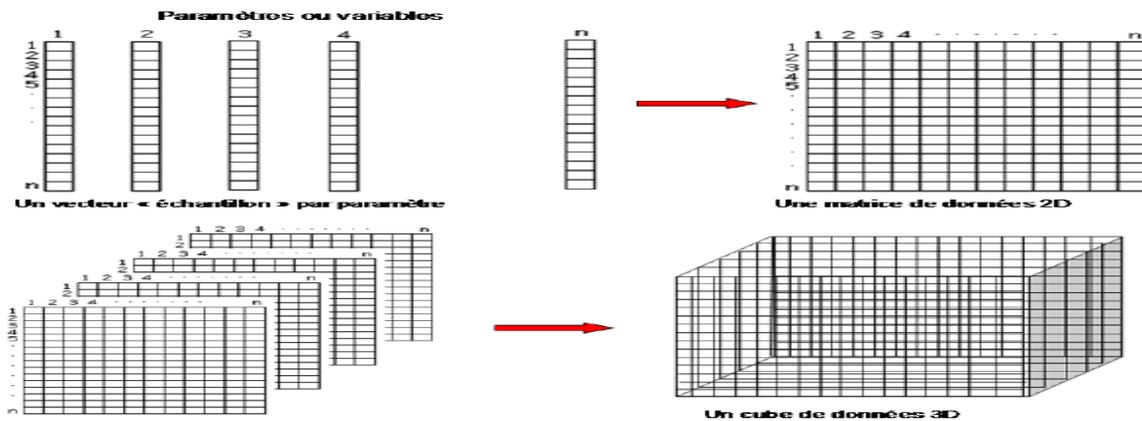


Figure II.1 : Représentation la matrice (M, N).

II.2.1. L'image de format DICOM

Une image DICOM peut être représentée en niveaux de gris ou en couleurs en utilisant un des systèmes R\TB ou CMJN ou bien en utilisant une palette de couleurs, un pixel est représenté sur 8 bits, 16 bits ou plus suivant le nombre de nuances à représenter.

CHAPITRE II

II.3. Les étapes du traitement d'images

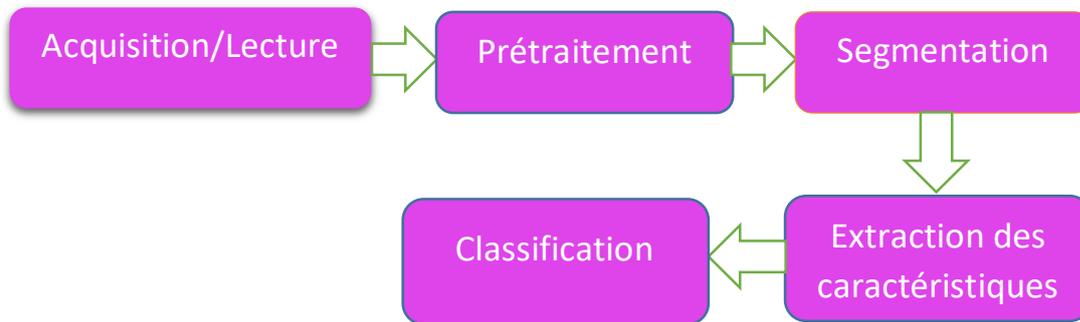


Figure II.2 : Schéma d'un système de traitement d'images

La figure II.2 illustre une des stratégies de traitement d'image (il n'y a pas de règles absolues).

Après la lecture (depuis une unité de stockage) ou l'acquisition d'une image (à partir d'un dispositif d'imagerie), on procède à son prétraitement, une étape généralement du filtrage, qui prépare la phase suivante c'est-à-dire la segmentation. C'est cette étape qui est la clé de réussite de la chaîne de traitement, elle permet d'identifier la cible (région d'intérêt, tissu pathologique, ...). Ensuite on peut extraire les caractéristiques de cette région d'intérêt (mesure géométriques, mesure statistiques, ...). Ces paramètres sont ensuite injectés dans un classifieur (SVM, Réseau de neurones, ...) qui pourra alors classer l'image selon l'objectif visé au départ (cas sain/cas pathologique ; pathologie1/pathologie2 ; ...). Nous allons à présent détailler quelques points de cette chaîne de traitement de l'image.

II.3. 1.Acquisition d'image

C'est la transformation de la réalité (la coupe IRM) en fichier informatique, la principale particularité de l'IRM est que l'appareil n'acquiert pas l'image elle-même mais son plan de Fourier.

II.3. 2.Pré-traitement

Cette phase a lieu juste après l'acquisition des images et a pour objectif d'améliorer la qualité de l'image en vue de sa segmentation.

Les techniques de prétraitements les plus couramment utilisées sont :

- La réduction du bruit par filtrage.
- La modification d'histogramme.

_Augmentation de contraste par l'égalisation d'histogramme

Egalisation d'histogramme :

L'égalisation d'histogramme est une méthode d'ajustement du contraste d'une image numérique qui utilise l'histogramme. Elle consiste à appliquer une transformation sur chaque pixel de l'image, et donc d'obtenir une nouvelle image à partir d'une opération indépendante sur chacun

CHAPITRE II

des pixels. Cette transformation est construite à partir de l'histogramme cumulé de l'image de départ, permet de mieux répartir les intensités sur l'ensemble de la plage de valeurs possibles. L'égalisation est intéressante pour les images dont la totalité, ou seulement une partie, est de faible contraste (l'ensemble des pixels sont d'intensité proches). La méthode est rapide, facile d'implémentation, et complètement automatique

II.3.3. La segmentation

La segmentation d'image est une étape essentielle dans l'objet de recherche en traitement d'image. Elle consiste à regrouper les pixels des images qui partagent une même propriété pour former des régions connexes. Il existe une multitude de méthodes de segmentation qu'on peut regrouper en deux grandes catégories :

*Segmentation fondée sur les contours (approche contour).

*Segmentation fondée sur les régions (approche région).

II.4. Réduction de bruit par filtrage

Le filtrage est le processus de remplacer un pixel par une valeur qui est fonction des données à proximité du pixel. C'est un opérateur local.

Buts :

Atténuer le bruit (Amélioration et restauration des images)

Amélioration de la qualité de segmentation

Accentuer les discontinuités (Rehaussement des contours)

II.4.1 Filtres linéaires

Un filtre est dit linéaire si la valeur du pixel de l'image résultat est une combinaison linéaire des valeurs des pixels situés dans une fenêtre de l'image initiale, un filtre linéaire est réalisé grâce à la convolution de l'image avec un masque.

- Filtre passe-bas : est un filtre qui laisse passer les basses fréquences et qui atténue les hautes fréquences, un adoucissement des détails, ainsi qu'une réduction du bruit granuleux.
Le filtre passe-bas est l'inverse du filtre passe-haut et ces deux filtres combinés forment un filtre passe-bande, il diminue le bruit mais atténue les détails de l'image.
- Filtre passe-haut : est un filtre qui laisse passer les hautes fréquences et qui atténue les basses fréquences, comme les détails, il améliore le contraste.
Un filtre passe haut est caractérisé par un noyau comportant des valeurs négatives autour du pixel central, ce filtre est l'inverse du filtre passe-bas et ces deux filtres combinés forment un filtre passe-bande.
- Filtre passe-bande : est un filtre ne laissant passer qu'une bande ou intervalle de fréquences compris entre une fréquence de coupure basse et une fréquence de coupure haute du filtre. Il élimine certaines fréquences indésirables présentes dans l'image.
- Filtre moyen : Le filtre Moyen est un filtre linéaire passe-bas, il supprime le bruit en atténuant les frontières des objets ce qui rend l'image floue, on peut réduire cet effet en n'effectuant la moyenne que si $|\text{Pixel} - \text{moyenne}| < T$.

CHAPITRE II

C'est un cas particulier de filtre de convolution ' passe-bas, qui remplace chaque pixel par la moyenne des valeurs des pixels adjacents et du pixel central.

$$B[i, j] = \sum_m \sum_n h[m, n]. A[i - m, j - n]$$

- Filtre de Gauss : est un filtre linéaire, isotrope spécial avec des propriétés mathématiques bien précises, possède un noyau de convolution de forme gaussienne La fonction Gaussienne est aussi souvent utilisée en traitement d'image on introduit donc une fonction gaussienne à deux dimensions $G(x, y)$:

$$G(x, y) = (1/2\pi\sigma^2) e^{-[(x^2+y^2)/2\sigma^2]}$$

- Filtre de Wiener : est un filtre linéaire stationnaire pour les images dégradées par le bruit additif et le flou. ce filtre minimise l'erreur quadratique moyenne entre le processus aléatoire estimé et le processus souhaité.

II.4.2. Les filtres non linéaires

L'inconvénient majeur des filtres linéaires est l'effet de flou. On peut surmonter cette difficulté en faisant appel à des filtres non linéaires telle que :

II.4.2.1 Filtre médian : c'est un filtre numérique non linéaire, souvent utilisé pour la réduction de bruit. Il remplace le pixel central de la fenêtre d'analyse par la valeur médiane des pixels de cette fenêtre et ceci après tri. Cette technique est largement utilisée en traitement d'images numériques car elle permet de réduire le bruit tout en conservant les contours de l'image et est particulièrement efficace pour le bruit de type sel et poivre.

II.4.2.2 Rehaussement de contraste par Laplacien : son but est de diminuer l'étendue de la zone de transition sans affecter l'intensité moyenne des régions situées de part et d'autre de cette transition, son principe est la soustraction à l'image initiale d'une proportion de son Laplacien.

II.5. Les méthodes morphologiques : La morphologie mathématique est une théorie et technique mathématique et informatique d'analyse de structures qui est liée avec l'algèbre, la théorie des treillis, la topologie et les probabilités.

Le développement de la morphologie mathématique est inspiré des problèmes de traitement d'images, domaine qui constitue son principal champ d'application.

Une des idées de base de la morphologie mathématique est d'étudier ou de traiter un ensemble à l'aide d'un autre ensemble, appelé élément structurant, qui sert de sonde. À chaque position de l'élément structurant, on regarde s'il touche ou s'il est inclus dans l'ensemble initial. En fonction de la réponse, on construit un ensemble de sortie. On obtient ainsi des opérateurs de base relativement intuitifs ; nous allons les détailler.

CHAPITRE II

II.5.1 La dilatation

La dilatation morphologique d'un ensemble X par un élément structurant \mathbf{B} est définie comme l'ensemble obtenu par addition de Minkowski de X par le symétrique de \mathbf{B} par rapport à son centre.

$$\begin{aligned}\mathcal{D}_B(X) &= X \oplus B = \bigcup_{x \in X} B_x = \bigcup_{b \in B} X_b \\ &= \{z / \exists x \in X, \exists b \in B; z = x - b\} \\ &= \{z / \check{B}_z \cap X \neq \emptyset\}\end{aligned}$$

- La dilatation fait disparaître les petits trous et fait grossir les objets

II.5.2. L'érosion

L'érosion morphologique est l'inverse de la dilatation : L'élément structurant B , repère par son centre, est déplacé pour occuper successivement toutes les positions de l'espace E

$$\varepsilon_B(X) = \overline{\mathcal{D}_B(\overline{X})} = \overline{\overline{X} \oplus \check{B}} = \overline{\bigcup_{b \in \check{B}} \overline{X}_b} = \bigcap_{b \in \check{B}} X_b = X \ominus \check{B}$$

- L'érosion fait disparaître les petits objets et amincit les objets restants

A partir de ces deux opérateurs morphologiques de base (l'érosion et la dilatation) on peut, en les associant, engendrer deux autres transformations morphologiques qui sont l'ouverture et la fermeture morphologique. On définit :

II.5.3. L'ouverture

C'est l'opération correspondant à l'érosion par B suivie de la dilatation par B . soit :

$$\gamma_B(X) = X \circ B = \mathcal{D}_{\check{B}}(\varepsilon_B(X)) = (X \ominus \check{B}) \oplus B$$

L'ouverture élimine donc les pics positifs (objets clairs) plus petits que l'élément structurant.

II.5.4. La Fermeture

De manière duale à l'ouverture, la fermeture correspond à la dilatation de X par B suivie de l'érosion par B . soit :

$$\varphi_B(X) = X \bullet B = \varepsilon_{\check{B}}(\mathcal{D}_B(X)) = (X \oplus \check{B}) \ominus B$$

La fermeture élimine plutôt les pics négatifs (objets sombres) plus petits que l'élément structurant. La figure II.3 est un exemple d'application de ces opérations morphologiques.

CHAPITRE II

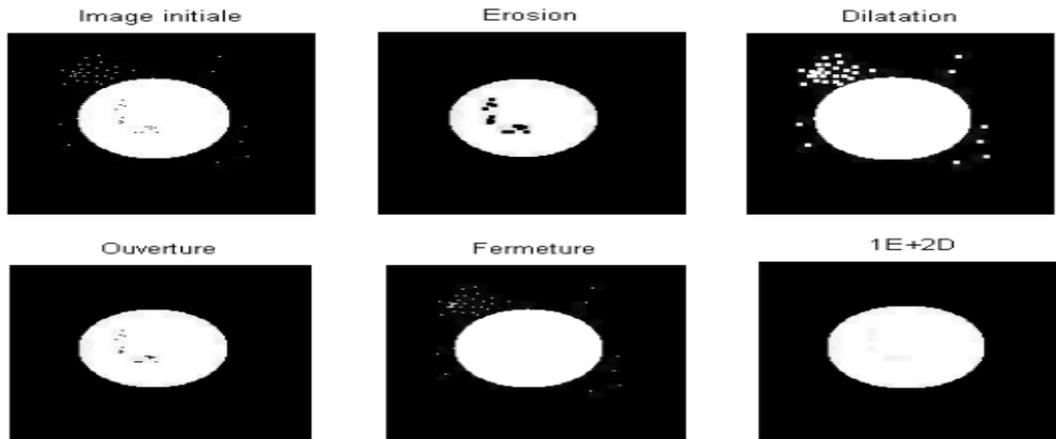


Figure II.3 : application des filtres morphologiques

Les opérations citées ci-dessus sont les primitives de la morphologie mathématique qui fournit par leur biais des outils de filtrage, segmentation, quantification et modélisation d'images.

II.6. La segmentation

La segmentation d'image est une étape essentielle dans l'objet de recherche en traitement d'image, elle consiste à regrouper les pixels des images qui partagent une même propriété pour former des régions connexes.

Il existe multitude de méthodes de segmentation qu'on peut regrouper en deux catégories :

- Segmentation fondée sur les contours (approche contour).
- Segmentation fondée sur les régions (approche région).

II.6.1 Segmentation fondée sur les contours (approche contour)

Le but de la détection des contours est de localiser des points dans une image numérique qui correspondent à des changements brutaux d'intensité lumineuse.

La détection des contours d'une image réduira considérablement la quantité de données et éliminera les informations qui peuvent être considérées comme moins pertinentes, tout en préservant les caractéristiques structurelles importantes de l'image.

II.6.2 Segmentation fondée sur les régions (approche région)

L'approche région cherche à regrouper les pixels en zones homogènes. Elle se caractérise en mesurant l'uniformité des régions construites dans l'image.

On distingue de nombreuses méthodes tel que :

- Segmentation par croissance des régions (Agrégation).
- Segmentation par classification (classification dure « k-means », classification flou « fcm »)
- Segmentation par seuillage.

II.6.2 .1 Segmentation par seuillage

CHAPITRE II

L'objectif est de segmenter une image en plusieurs classes en n'utilisant que l'histogramme : à chaque pic de l'histogramme est associée une classe, afin d'extraire des objets de leurs fonds en fonction d'un seuil.

Si l'image contient deux classes, le résultat du seuillage est une image binaire en noir(0) et blanc(1). Si l'image contient plusieurs objets ayant des luminances différentes on utilise le multi-seuillage.

II.6.2 .1 .1 Seuillage par histogramme

Les méthodes de seuillage d'histogrammes sont souvent considérées comme des méthodes de segmentation d'images privilégiées, ces méthodes reposent sur l'exploitation de l'histogramme monodimensionnel de l'image qui caractérise la distribution des niveaux de gris.

On peut aussi considérer la segmentation par seuillage d'histogramme comme un cas particulier de la segmentation par classification car elle permet de répartir les pixels en classes en fonction de leurs niveaux de gris et les classes sont alors délimitées par des seuils.

II.6.2 .2 La segmentation par croissance de régions

Les méthodes d'accroissement de région sont les méthodes de segmentation les plus simples, l'algorithme part de petits éléments de l'image qu'il va tenter de regrouper en éléments plus importants suivant un critère d'homogénéité.

Cette méthode présente deux limitations sévères :

1. Trouver les points de départ des régions
2. Faire grossir les régions par agrégation des pixels voisins

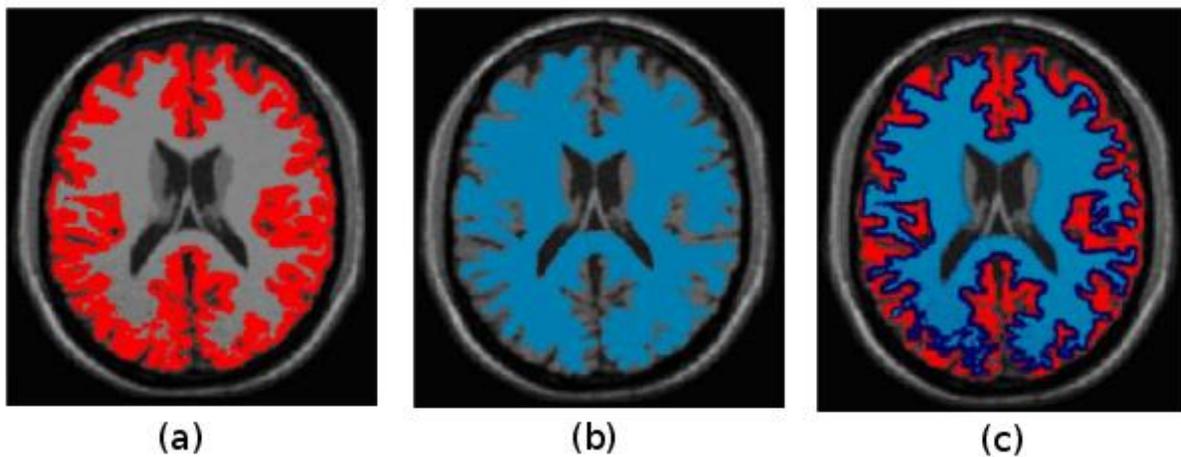


Figure II.4 Segmentation de l'encéphale par croissance de régions (a) segmentation de la MG, (b) segmentation de la MB et (c) régions de chevauchement entre les deux régions segmentées.

II.6.2 .3 Segmentation par classification non supervisé

II.6.2 .3.1 K-means

CHAPITRE II

Les méthodes de classification (clustering) issues de l'analyse de données permettent de regrouper tous les pixels ayant des couleurs similaires. L'un des algorithmes les plus connus pour la classification est l'algorithme **K-means**. C'est un algorithme itératif qui minimise la somme des distances entre chaque pixel et consiste à échanger des pixels entre deux classes jusqu'à ce que la somme des distances intra classes ne puisse plus diminuer.

Algorithme :

Initialisation des centres de classes

Classification des points par rapport à leur distance aux centres

Calcul de nouveaux centres

Itération jusqu'à la stabilisation des centres

II.6.2 .3.2 fuzzy c-means FCM

L'algorithme des c-moyens flous (fuzzy c-means) est un algorithme de classification floue fondé sur l'optimisation d'un critère quadratique de classification où chaque classe est représentée par son centre de gravité, le principe de cette technique peut être décrit comme suit :

Pour chaque pixels, dans l'ensemble des données, appartient à chaque cluster sont caractérisé par leur centre de gravité et en donnant un certain degré d'appartenance à chaque classe : pour chaque pixel .L'algorithme FCM tente à minimiser la fonction objective J décrite par l'équation

$$J = \sum_{i=1}^c \sum_{k=1}^n U_{ik}^m \|X_k - V_i\|^2$$

suivante :

La fonction objective de la FCM est minimisée lorsque des valeurs d'appartenance élevées sont attribuées à des pixels dont les intensités sont proches du centre de gravité de sa classe particulière, et que des valeurs de membre faible sont attribuées lorsque les données des pixels sont éloignées du centre de gravité. Les degrés d'appartenance doivent satisfaire les conditions suivantes :

$$0 \leq U_{ik} \leq 1 \quad \forall i \in [1, c] \forall k \in [1, n]$$

$$\sum_{i=1}^c U_{ik} = 1 \quad \forall k \in [1, n] \quad \text{Relation de fermeture}$$

$$0 < \sum_{k=1}^n U_{ik} < n \quad \forall i \in [1, c] \quad \text{Aucune classe vide}$$

L'algorithme du FCM :

- Fixer les paramètres (nombre de classes c, seuil représentant l'erreur de convergence ε , degré de flou m).

CHAPITRE II

- Initialiser la matrice des degrés d'appartenances U par des valeurs aléatoires dans l'intervalle $[0, 1]$.
- Mettre à jour la matrice prototype V par la relation
- Mettre à jour la matrice degrés d'appartenances par la relation.
- Répéter les étapes 3 à 4 jusqu'à satisfaction du critère d'arrêt.

II.6.2 .4 Segmentation par La ligne de partage des eaux : (LPE ou Watershed en anglais)

LPE est l'une des techniques de segmentation les plus puissantes de la morphologie mathématique (citée au paragraphe II.5), liée au processus d'inondation, qui consiste à diviser l'image en différentes zones homogènes appelées «bassins versants»,

LPE considère une image aux niveaux de gris comme un relief topographique les pixels sombres (de faible gradient) correspondent donc aux vallées et bassins du relief alors que les pixels clairs (de gradient plus fort) correspondent aux collines et lignes de crêtes.

L'idée de base est de percer le relief au niveau du bassin puis de l'immerger progressivement dans l'eau. À la fin de ce processus, une fois les deux bassins de rétention se rencontrent, un barrage sera créé pour les séparer, tous ces barrages forment une ligne de partage des eaux, pour l'obtenir il faut imaginer l'immersion d'un relief dans l'eau (figure II.5).

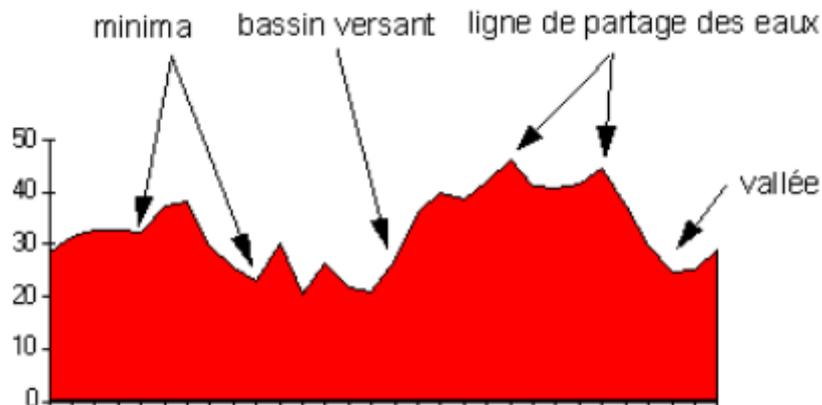


Figure II.5 : Ligne de Partage des Eaux

***Minimum local** : c'est le point du plateau d'où on ne peut pas atteindre un point plus bas sans être obligé de remonter.

***Bassin versant** : c'est la zone d'influence d'un minimum local. Une goutte d'eau s'écoulant dans le bassin versant arrive au minimum local

***Ligne de partage des eaux** : c'est la ligne séparant 2 bassins versants (de cette ligne, une goutte d'eau peut s'écouler vers au moins 2 minima locaux distincts)

CHAPITRE II

II.7 Etat de l'art

Auteur	Année	Application	Méthodes
-Mohammed Zakir Bellary -Fathimath Famezza -Dr.Baziz Musthafa	2021	La classification de la douleur au genou IRM	Algorithme3 Cnn et algorithme K-means clustering
-Hong Seng Gan -Haziqah Hamidum -Mohammad Hanif Ramlee	2018	Modèle de génération automatique de grains binaires pour la segmentation du cartilage du genou	K-means clustering Fuzzy C-means Développement du système d'étiquetage
-Shawli Bardham -Mrimal Kanti Bhowmik	2019	Classification des étapes des thermogrammes de l'articulation du genou pour la prédiction de la polyarthrite rhumatoïde dans l'inflammation subclinique	K-means Fuzzy C-means Otsu SVM
-Abhishek Kumar -Nagaraja Hebbar -Kavya -Jaisson Dosuza -Mamoja Kumara	2020	Segmentation des Os à l'aide de l'IRM	Algorithme de filtrage bilatéral K-means Fuzzy C-means

II.8. Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre les outils de base de traitement d'image, en particulier ceux qui nous semblent appropriés pour le traitement des IRM du genou. Dans la partie pratique de ce travail, nous suivrons les étapes classiques (prétraitement puis segmentation) en testant tour à tour les méthodes que nous venons d'exposer. Nous retiendrons dans l'algorithme final la combinaison de méthode et d'outils qui donnerons les meilleurs résultats. En effet, à ce jour il n'existe aucune méthode de segmentation universelle, même si actuellement les approches dites de Deep Learning sont en vogue. Malheureusement leur réussite est conditionnée par l'usage d'une grande base de données (Big data) et un matériel

CHAPITRE II

(hardware) très performant. Nous nous limiterons donc à tester les outils classiques cités dans ce chapitre.

CHAPITRE III

Matériel, Méthodes et Résultats

CHAPITRE III

III. Introduction

Le traitement des images médicales est une discipline riche et variée, mais dans laquelle les nombreuses méthodes qui existantes sont délicates à appliquer aux problèmes réels.

Dans ce chapitre, nous présenterons notre contribution dans le cadre de la segmentation du genou qui nous permet de mieux visualiser les structures plus précises ainsi d'identifier les anomalies des genoux qui affecte des centaines de millions de personnes à travers le monde.

Notre travail permet l'aide au diagnostic des pathologies du genou en facilitant aux médecins la visualisation précise de ses structures (tissus sains et pathologiques). Cette visualisation permet également de programmer correctement l'acte chirurgical.

Nous commencerons par présenter notre base de données, l'environnement de développement puis la méthodologie adoptée pour résoudre le problème posé. Nous finirons par donner quelques résultats et perspectives.

III.1. Présentation de la base de données

Nos expérimentations ont été réalisées sur une base de données réelle des images IRM de 4 patients, 3 patients qui présentent des pathologies (Epanchement minime intra articulaire, un kyste et fissure radiale de la corne postérieure du ménisque interne, Angio lymphome synovial et synovite) et un patient sain.

Nous avons plusieurs coupes (sagittale, coronale et axial). Cela correspond à un seul genou par patients (gauche ou bien droite).

Nous avons assemblé cette base de données lors de notre stage chez le centre d'imagerie médicale DR ABDEALI.

Ensuite grâce à l'aide de médecins et d'ingénieurs de la clinique et aussi l'encadrement de l'anatomiste Dr BABA ASIA, nous avons pu sélectionner les régions d'intérêt de chaque genou avec différentes coupes. En fin nous avons obtenu une petite base de données, suffisante pour une étude pilote

L'acquisition est faite par un IRM Général électrique (GE) de 3Tesla.

Finalement les images que nous avons obtenues sont des images de format DICOM. Nous avons sélectionné de cette base 62 coupes sagittales et axial, de taille 256*256 pixels. (Figure III.1, Figure III.2, Figure III.3, Figure III.4).

CHAPITRE III

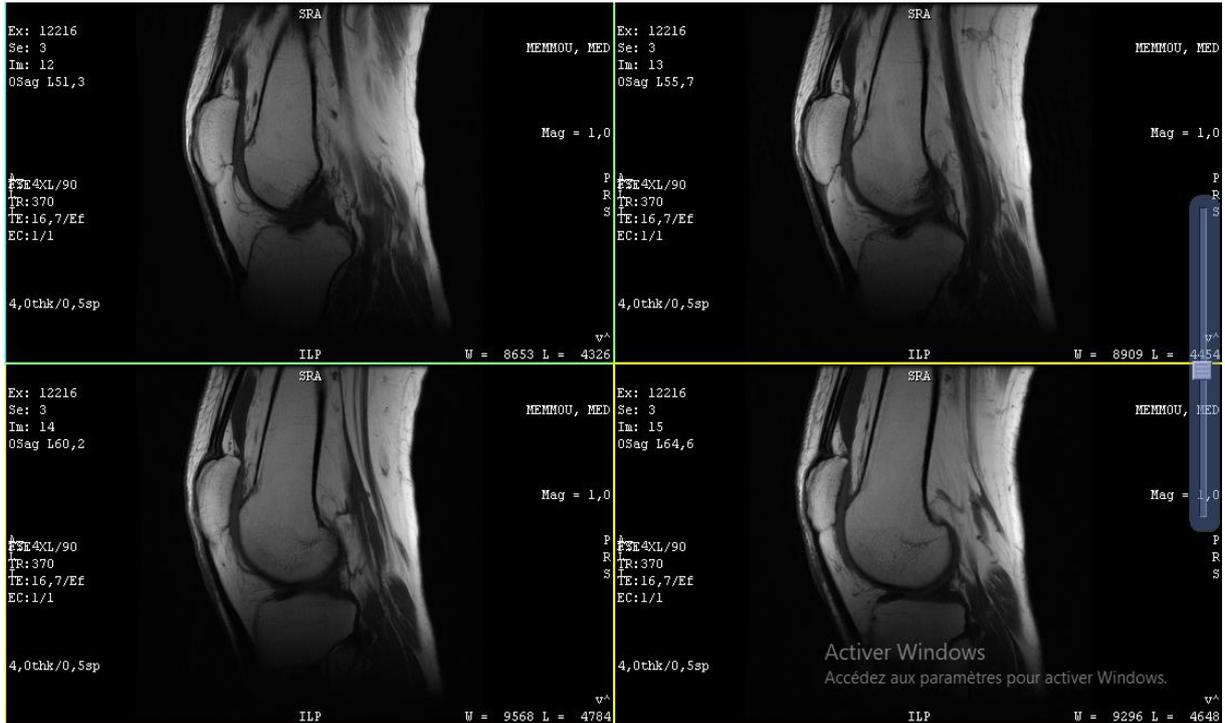


Figure III.1. Genou normale

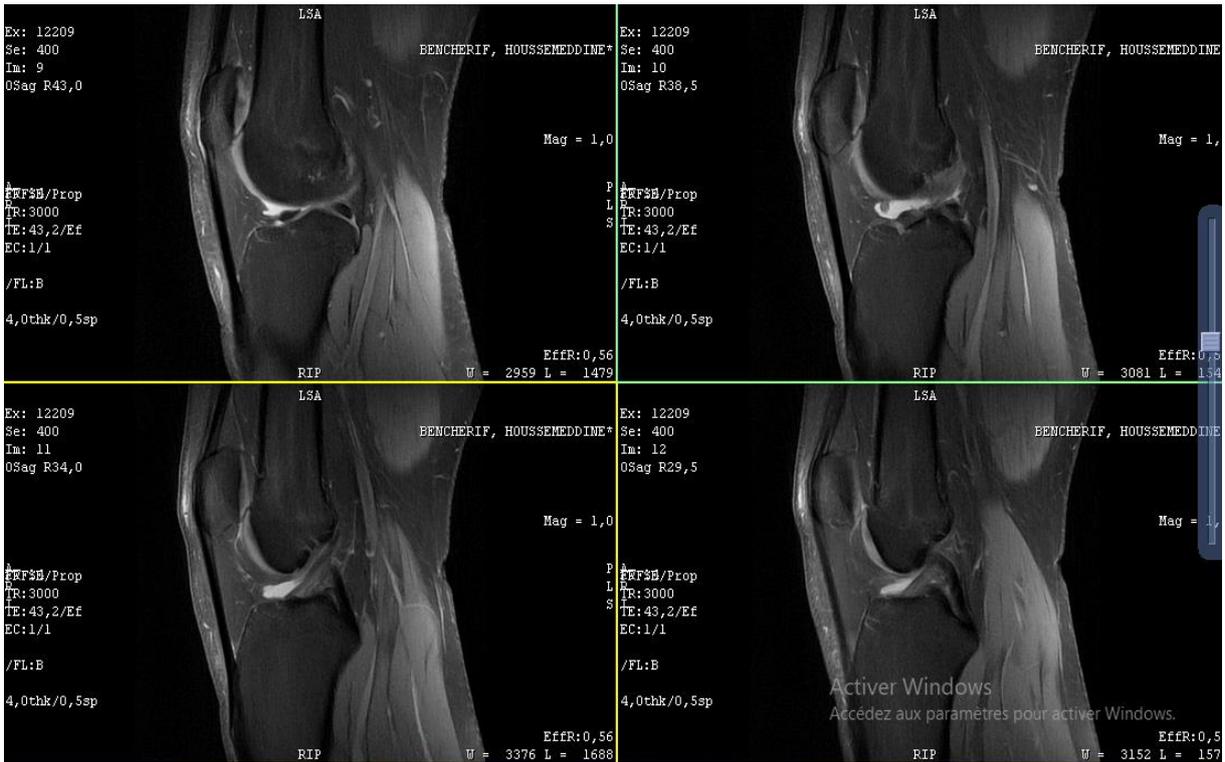


Figure III.2. Epanchement minime intra articulaire

CHAPITRE III

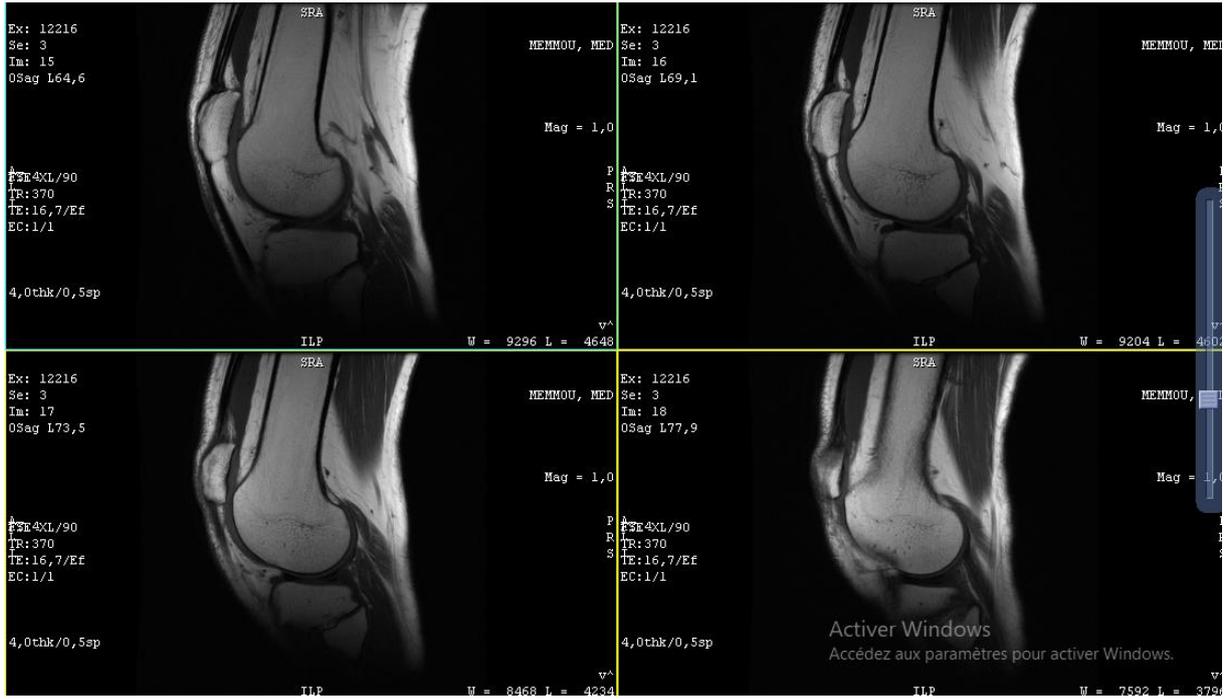


Figure III.3. Kyste poplité et fissure radiaire de corne postérieure du ménisque interne

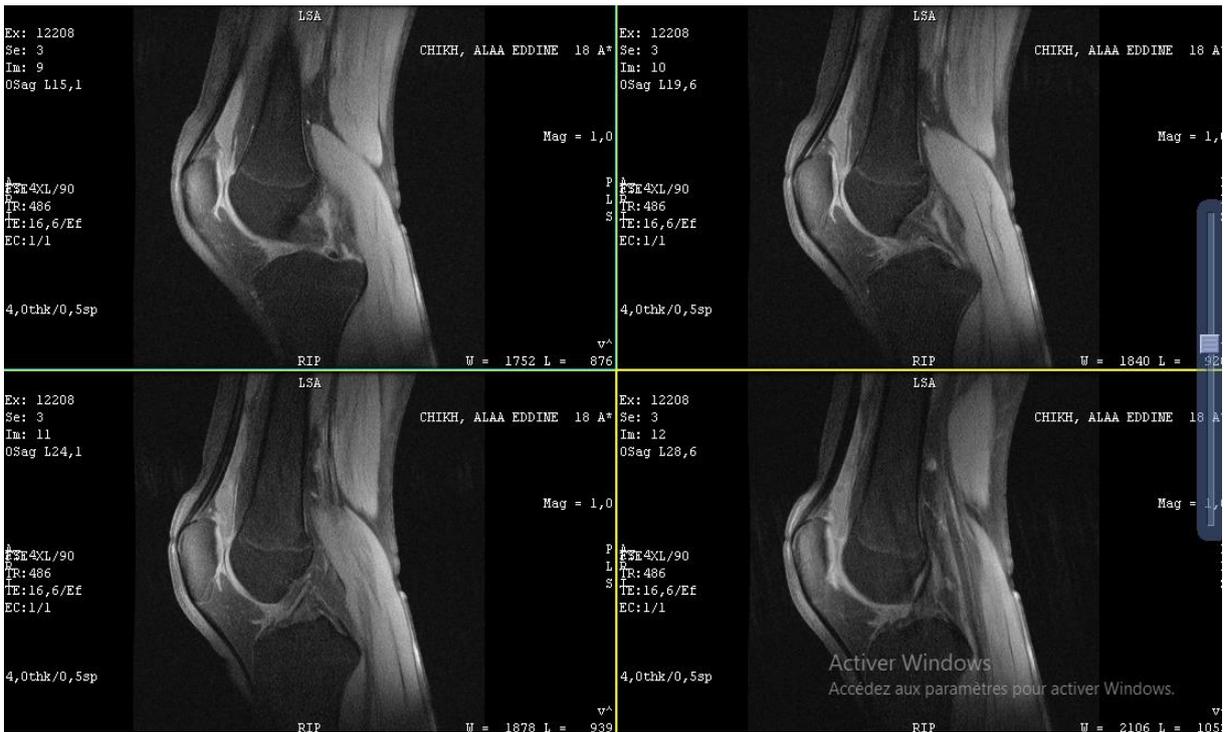


Figure III.4. Angio lymphome synovial et synovite

CHAPITRE III

III.1.1 Du format DICOM à format JPEG

Notre base de données contient des images enregistrées sous format DICOM qui est un fichier contenant d'image et les données démographiques (ID patient, nom du patient, âge, sexe) et des informations relatives à l'examen (date, heure, nombre d'images, paramètres techniques) qui ne peuvent être séparées de l'image elle-même.

Nous avons converti nos images en JPEG pour simplifier la programmation puisque certaines fonctions Matlab ne sont pas adaptées au format DICOM. Le JPEG est avant tout un algorithme de compression qui désigne un format d'enregistrement, dans le but de réduire la taille des images sans perte d'information, à la fois pour la transmission et l'archivage. (Figure III.5).



Figure III.5. (a)Image DICOM, (b) Image JPEG

III.2. Environnement de développement

Notre application est implémentée sous l'environnement de programmation MATLAB version 2015.

III.2.1. Le langage de programmation MATLAB

Le langage MATLAB (Matrix laboratory) a été conçu par Cleve Moler à la fin des années 1970 est à la fois un logiciel et un langage de calcul scientifique très performant intégrant le calcul, la programmation et la visualisation dans un environnement simple à utiliser Il est parmi les langages de programmation les plus intéressent.

Son objectif, par rapport aux autres langages, est de simplifier au maximum la transcription en langage informatique d'un problème mathématique, en utilisant une écriture la plus proche possible du langage naturel scientifique (Figure III.6).

CHAPITRE III

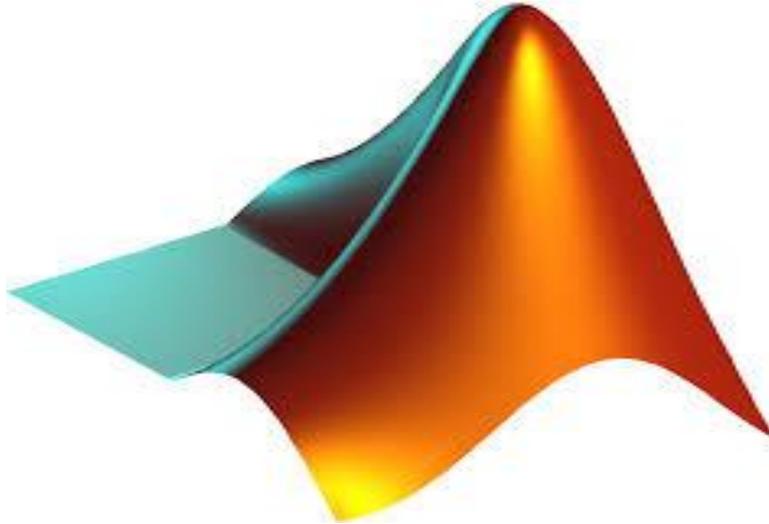


Figure III.6. : Logo de MATLAB

III.2.2 Les Avantages de MATLAB

Voici quelques avantages de MATLAB qui ont conduit à une augmentation de sa popularité et de son utilisation :

- Programmation infiniment plus rapide pour le calcul et pour l'affichage.
- Une librairie très riche.
- Possibilité d'inclure un programme en C/C++
- Langage interprété : Pas de compilation donc pas d'attente pour compiler.
- Possibilité d'exécuter du code en dehors du programme.
- Code facile à comprendre et très lisible.

III.3 Méthodologie et résultats

Nous avons commencé par un prétraitement pour améliorer la qualité de notre image et renforcer l'information utile, en augmentant le contraste par égalisation d'histogramme et par l'application des filtres linéaire et non linéaire, ensuite nous avons proposé deux méthodes de segmentation : la segmentation par seuillage et la segmentation par classification.

Ces deux dernières étapes nous ont permis d'extraire les régions d'intérêt et par la suite la sélection automatique des régions. La Figure III.7, récapitule ces étapes que nous détaillerons par la suite.

CHAPITRE III

III.3.1.Méthode proposée

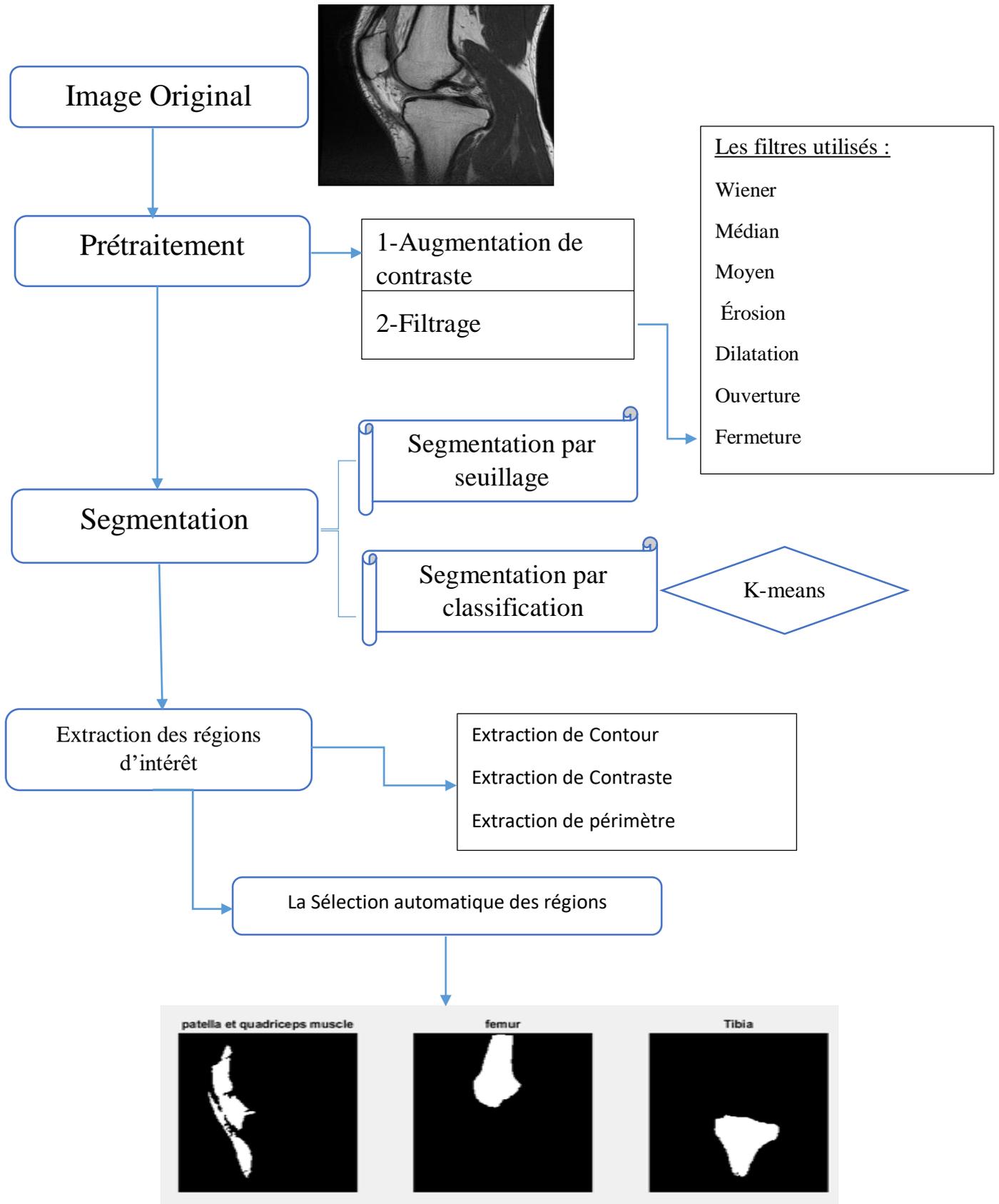


Figure III.7. Schéma de principe de la méthode proposée

CHAPITRE III

III.3.1.1 Prétraitement

On a commencé notre programme par appliquer l'égalisation d'histogramme qui permet de rehausser le contraste entre les différentes structures anatomiques du genou.

On a ensuite appliqué un filtrage. Pour ce faire on a testé plusieurs filtres.

Nous allons à présent détailler les filtres testés et également certaines opérations morphologiques que nous appliquons en prétraitement ou en post-traitement pour affiner le résultat de la segmentation.

Les filtres utilisés

Filtre moyeneur : Le filtre Moyeneur est un filtre linéaire passe-bas, mais provoque aussi du recouvrement spectral, il supprime le bruit en atténuant les frontières des objets ce qui rend l'image floue. On peut réduire cet effet en n'effectuant la moyenne que si :

$$|\text{Pixel} - \text{moyenne}| < T \text{ (Figure III.8).}$$

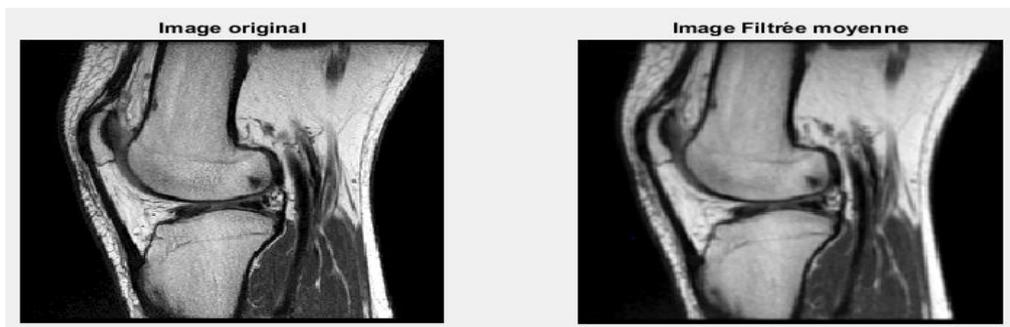
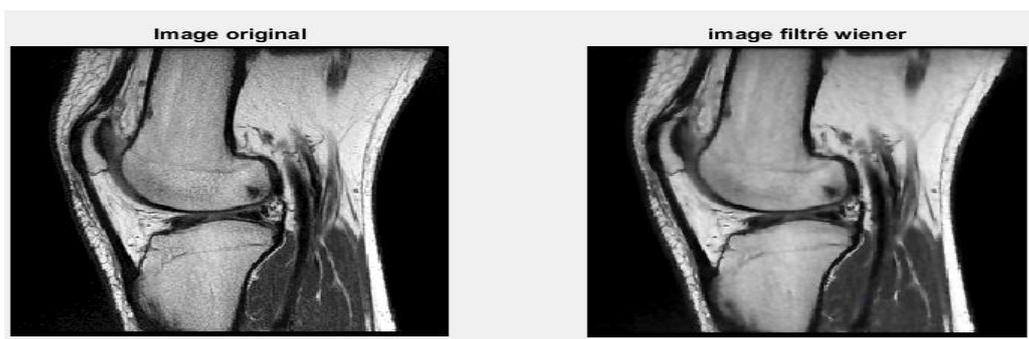


Figure III.8 Filtre moyeneur

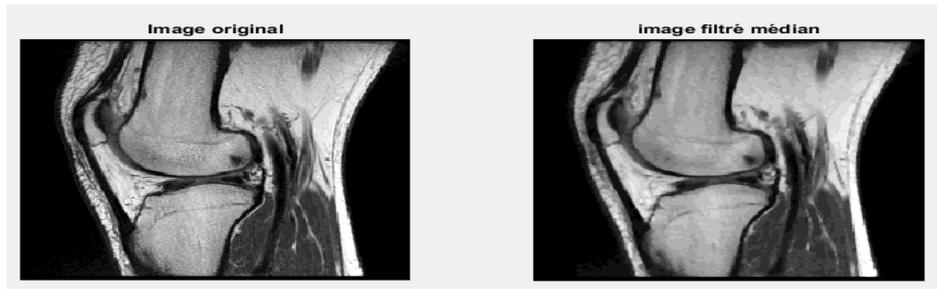
Filtre de Wiener : est le filtre linéaire stationnaire pour les images dégradées par le bruit additif et le flou. Ce filtre minimise l'erreur quadratique moyenne entre le processus aléatoire estimé et le processus souhaité. (Figure III.9)



(Figure III.9) Filtre Wiener

Filtre médian : C'est un filtre non linéaire, souvent utilisé pour la réduction de bruit, tout en conservant les contours de l'image et est particulièrement efficace pour le bruit de type sel et poivre. (Figure III.10).

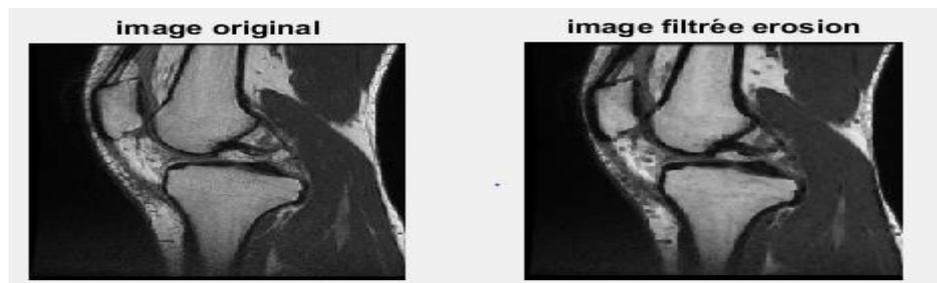
CHAPITRE III



(Figure III.10) Filtre médian

L'érosion

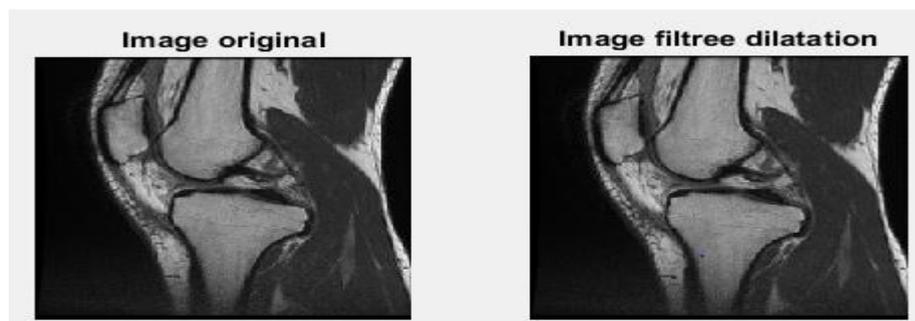
L'érosion est un opérateur morphologique qui fait disparaître les petits objets et amincit les objets restants (Figure III.11)



(Figure III.11) Erosion

La dilatation

La dilatation est un opérateur morphologique qui fait disparaître les petits trous et fait grossir les objets (Figure III.12).



(Figure III.12) Dilatation

L'ouverture et la fermeture

Sont des opérateurs morphologiques, l'ouverture élimine donc les pics positifs (objets clairs) plus petits que l'élément structurant et La fermeture élimine plutôt les pics négatifs (objets sombres) plus petits que l'élément structurant. (Figure III.13)

CHAPITRE III



(Figure III.13) Ouverture et fermeture

Evaluation des filtres utilisés

Nous allons présenter dans le tableau III. 1 les résultats d'évaluations des filtres que nous avons testé sur notre base de données. Nous avons utilisé les paramètres d'évaluation PSNR et Entropie pour l'image original et l'image filtrée.

Nous pouvons conclure que le meilleur résultat est obtenu avec le filtre de Wiener avec PSNR=31.4852 et Entropie =4.0704 dans l'image original et Entropie =7.1172 dans l'image filtrée.

Le filtre Wiener a donc augmenté la quantité d'information en éliminant le bruit. C'est ce filtre qui sera sélectionné.

Nom de filtre	PSNR	Entropie
Médian	29.4852	E1=4.0704 E2=4.0137
Wiener2	31.8296	E1=4.0704 E2=7.1172
Average (moyen)	19.9768	E1=0.5903 E2=0.4327
Erosion	19.1931	E1=4.0704 E2=3.7737
Dilatation	19.0618	E1=4.0704 E2=4.2165
Ouverture	23.9908	E1=4.0704 E2=3.9211
Fermeture	24.9734	E1=4.0704 E2=4.0825

Table III. 1 : Mesure d'évaluation des filtres (E1 : entropie de l'image originale, E2 : entropie de l'image filtrée)

CHAPITRE III

III. 3.1.2 La segmentation

III. 3.1.2.1 La segmentation par seuillage

A partir de l'histogramme on peut extraire les différentes régions de l'image en utilisant le seuillage. Donc le seuillage permet de classer les pixels en deux catégories, ceux dont la mesure est inférieure au seuil (S) et ceux dont la mesure supérieure ou égale le seuil, les pixels inférieurs au seuil vont apparaître en noire et les autres pixels vont apparaître en blanc (image binaire).

Dans notre cas comme on a appliqué un seuil manuel qui doit donc être adapté pour chaque coupe pour cette raison nous proposons à l'opérateur d'insérer le seuil à travers l'interface graphique.

On a ensuite utilisé la commande **bwareaopen** pour supprimer toutes les composantes connectées qui ont moins de 1 pixel dans l'image binaire. Et la commande **Imfill** pour remplir les zones et les trous de l'image.

III. 3.1.2.2 La segmentation par Classification (K-means)

Les algorithmes de clustering ont été appliqués avec succès en tant que technique de segmentation d'image médicale car ils sont faciles à mettre en œuvre.

K-means est l'un de ces algorithmes, on va l'utiliser pour segmenter le plan osseux du genou et les pathologies qui existent dans notre image. Pour cela on a associé à chaque pixel un label en s'appuyant sur l'information portée. Les tests effectués avec cette méthode de classification nous ont permis de conclure que le choix du nombre de classe joue un rôle très important dans la segmentation (**Figure III.14**).

Dans notre cas on a choisi manuellement le nombre de classe suffisant pour chaque image.

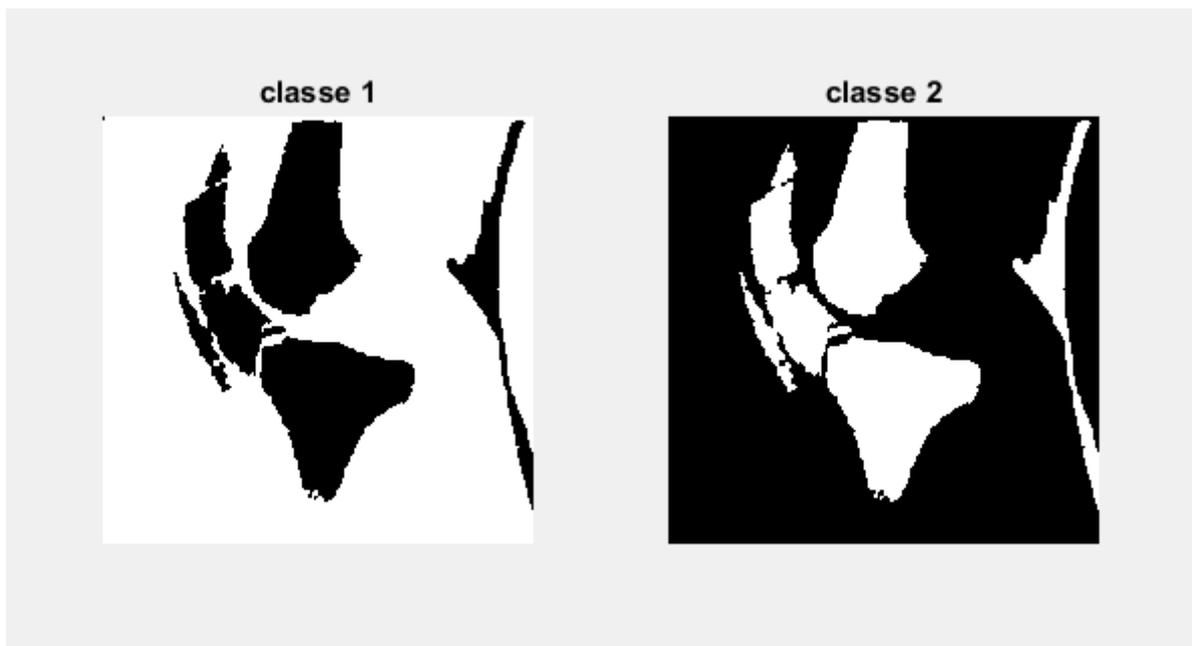


Figure III.14. Exemple des classes

CHAPITRE III

III. 3.1.3 L'extraction de caractéristiques

L'extraction de caractéristique est une étape essentielle dans notre travail qui va nous faciliter la sélection de chaque région. On a choisi l'extraction du périmètre, du contraste et du contour (Figure III.15).

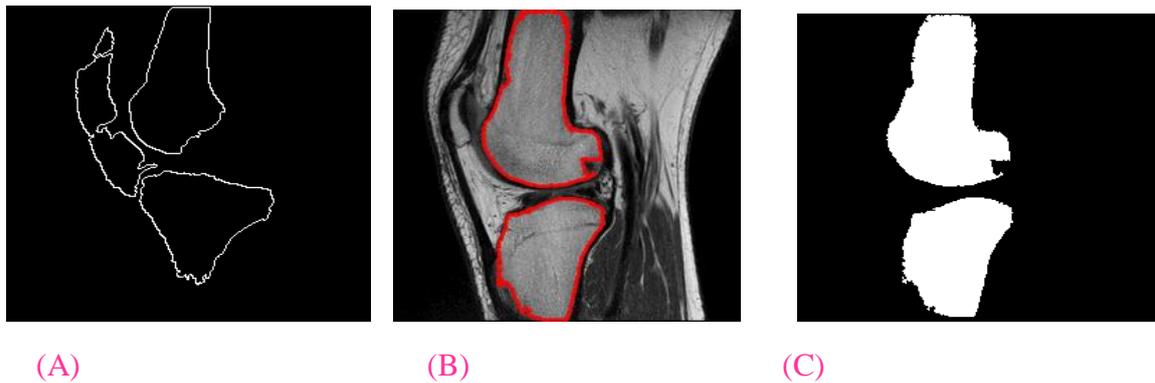


Figure III.15. (A) extraction de contour, (B) extraction de périmètre, (C) extraction de contraste.

III. 3.1.4 La sélection automatique des régions

Dans cette étape on a utilisé la commande **bwlabel** qui permet de renvoyer le nombre de région qui existent dans l'image binaire.

Pour afficher chaque région on a utilisé la boucle FOR, et on affiche à l'aide de commande **imshow** (Thisrégion). (Figure III.16)

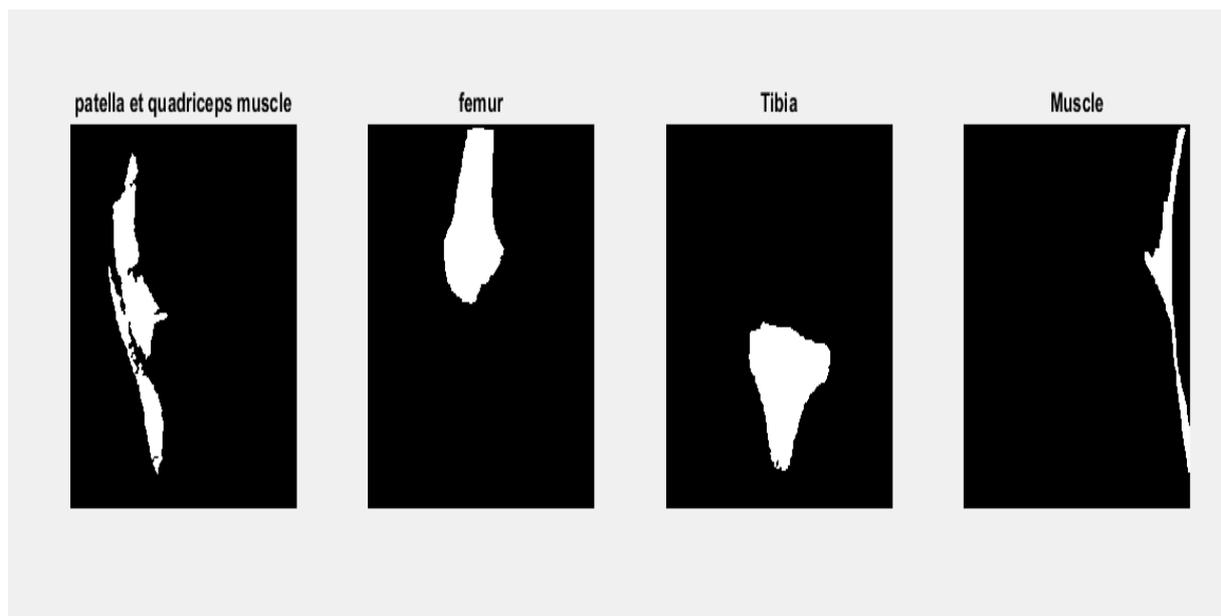


Figure III.16 Extraction des régions

CHAPITRE III

III.4 Interface graphique

Les interfaces graphiques ou GUI (Graphical User Interface) permettent à l'utilisateur d'interagir avec un programme informatique, grâce à différents objets graphiques (boutons, menus, cases à cocher.....). Ces objets sont généralement actionnés à l'aide de la souris ou du clavier.

L'interface graphique permet de faciliter le test et l'exécution des algorithmes. Elle offre également la possibilité d'introduire des paramètres externes nécessaires au bon déroulement du programme (algorithme avec paramètres manuels).

Nous allons présenter les différentes parties de cette interface graphique.

INTERFACE : SEGMENTATION DU GENOU

Dans cette interface nous avons présenté notre programme, on commence par le téléchargement de l'image originale, ensuite le prétraitement qui contient l'ajustement d'histogramme de l'image et le filtrage de Wiener. On affiche aussi les mesures d'évaluation du filtrage telle que le PSNR et l'entropie.

L'étape suivante concerne la segmentation, on affiche la segmentation par seuillage c'est là où l'utilisateur va entrer le seuil manuellement, puis on affiche la segmentation par classification. Ici encore on donne la main à l'utilisateur pour entrer le nombre de classes. Ensuite on affiche les régions avec une procédure permettant d'extraire et de séparer les régions d'intérêt qui sont l'os, les muscles et quelques pathologies.

A la fin on affiche l'image segmentée en superposant un périmètre sur les régions d'intérêt (Fémur, patella, muscle, rotule ...). (Figure III.17), (Figure III.18), (Figure III.19), (Figure III.20), (Figure III.21).

SEGMENTATION DU GENOU

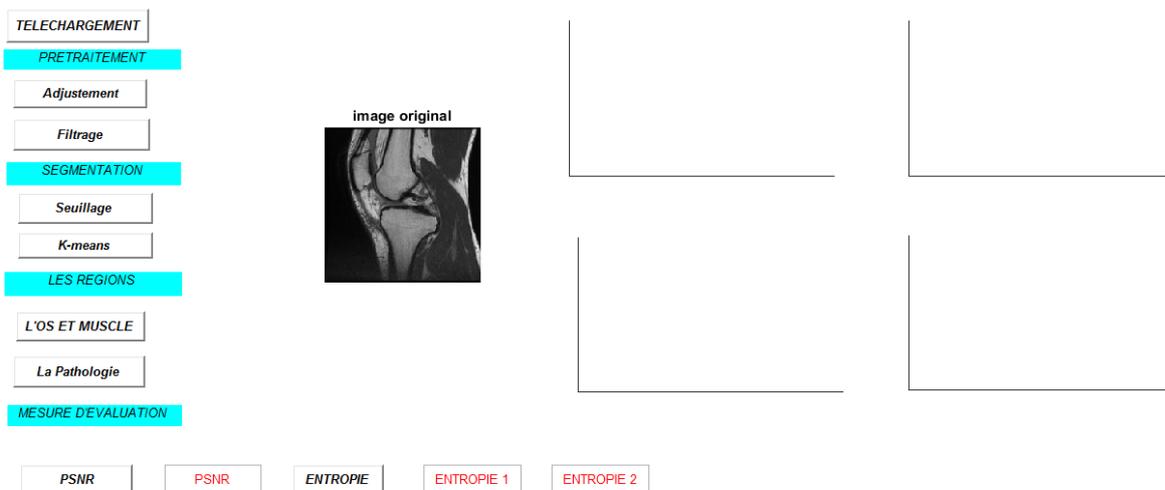


Figure III.17 Interface graphique (téléchargement de l'image)

CHAPITRE III

SEGMENTATION DU GENOU

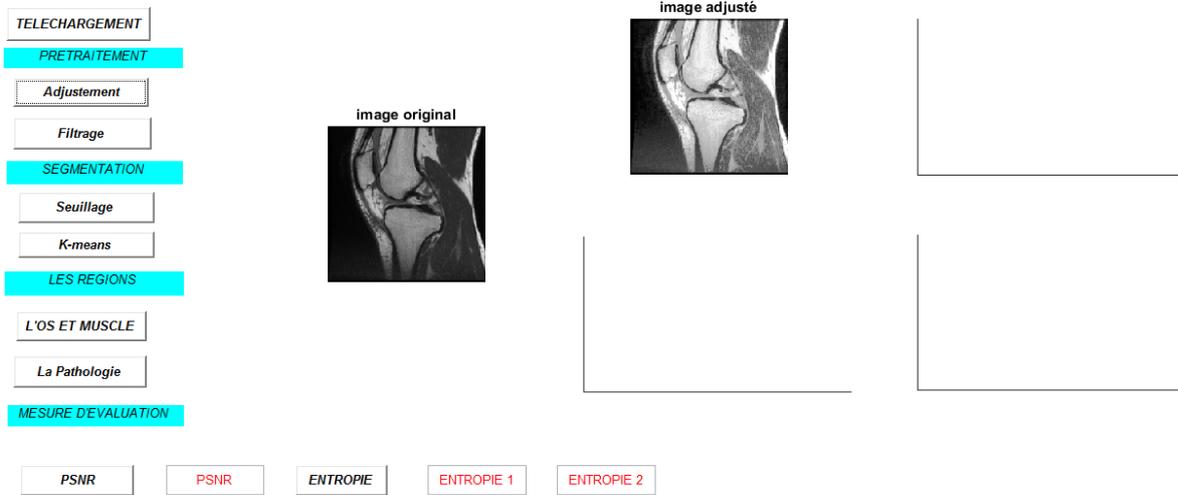


Figure III.18 Interface graphique (Ajustement)

SEGMENTATION DU GENOU

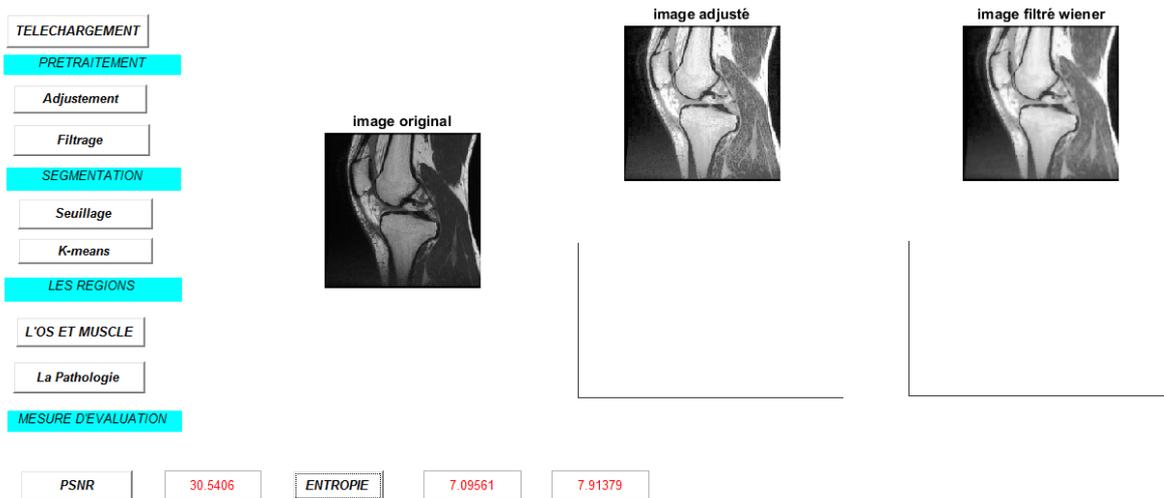


Figure III.19 Interface graphique (Filtrage)

CHAPITRE III

SEGMENTATION DU GENOU

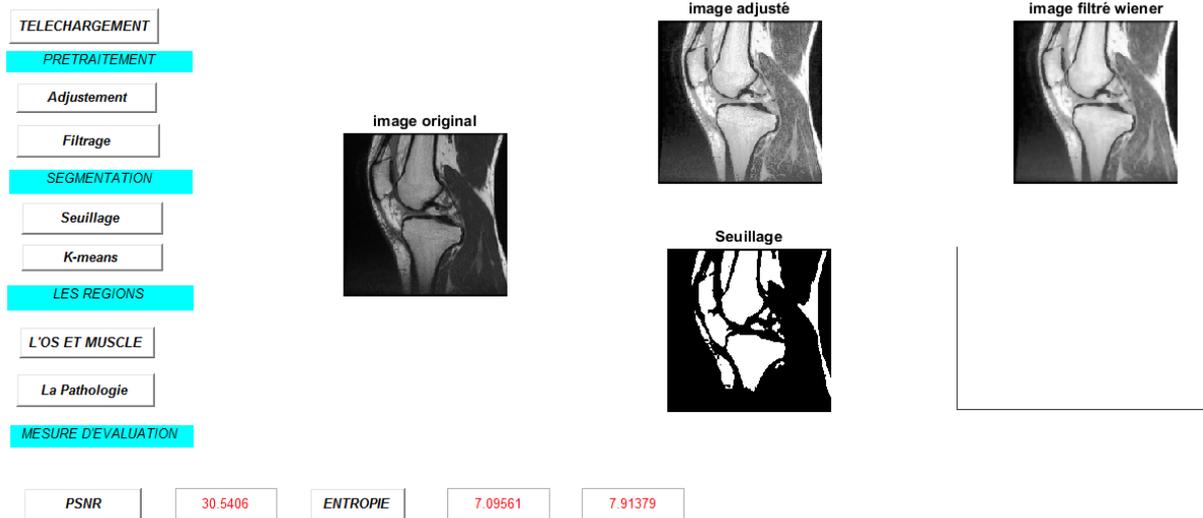


Figure III.20 Interface graphique (Seuillage)

SEGMENTATION DU GENOU

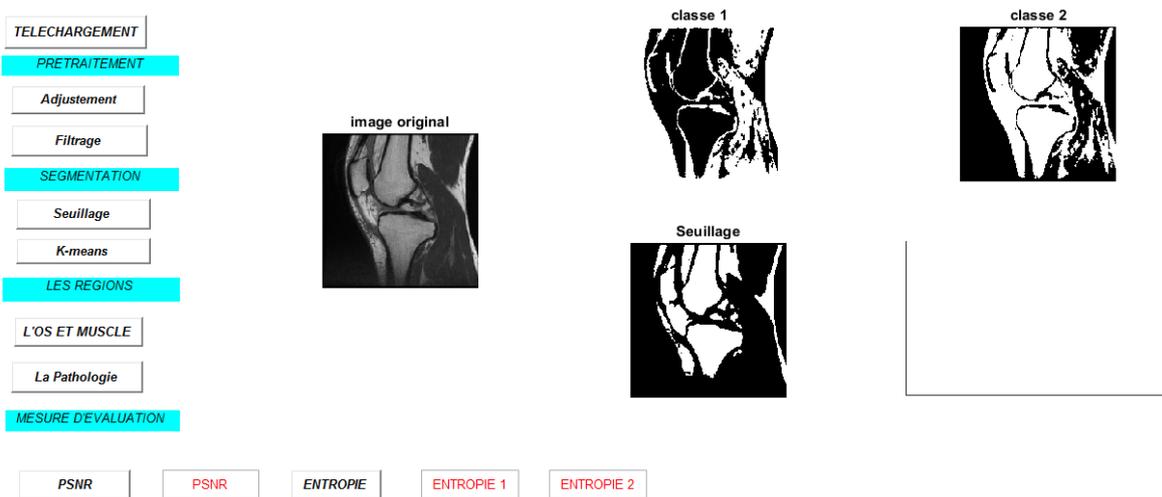


Figure III.21 Interface graphique (Classification)

III.5 Discussion

Les deux méthodes de segmentation que nous avons utilisé à savoir le seuillage et la classification par Kmeans, ont été validé par des experts, ils ont préféré la méthode de segmentation par seuillage qui est moins couteuse et donne de meilleurs résultats.

CHAPITRE III

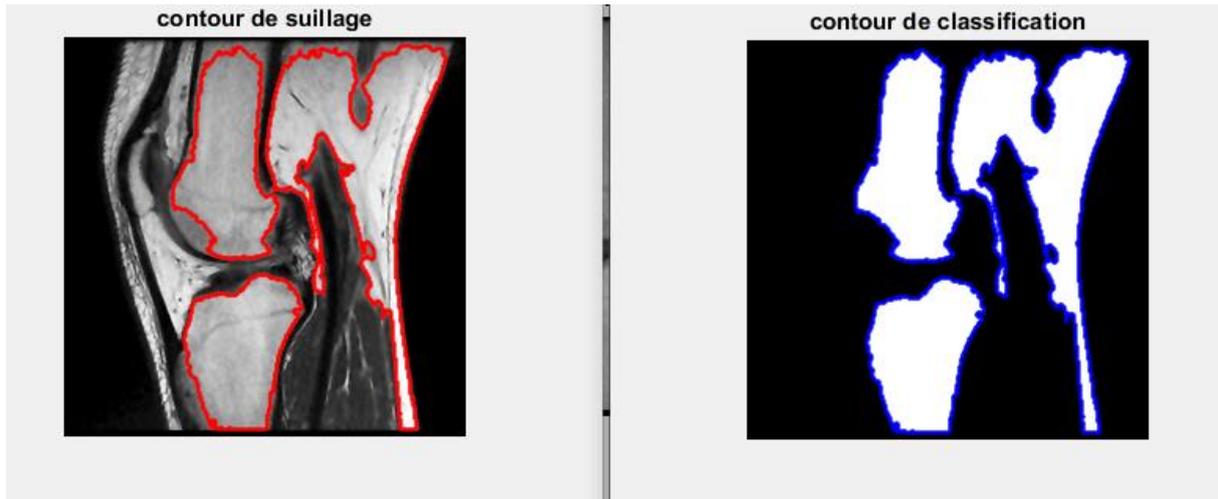


Figure III.22 exemple de comparaison entre la segmentation par classification et par seuillage

III.6 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons appliquée certains outils d'analyse et de traitement d'image sur notre base de données (coupes IRM du genou) nous avons détaillé chaque étape utilisé et interprété chaque résultat obtenu.

On a commencé par un prétraitement, en utilisant certaines opérations visant à améliorer la qualité de notre image, puis on a appliqué un filtrage.

Ensuite nous passons à la segmentation du genou par un seuillage et par classification nous avons utilisé l'algorithme de K-means afin d'extraction le plan osseux et les pathologies du genou.

L'étape suivante concerne l'extraction des caractéristiques, elle a un rôle très important qui va nous faciliter la sélection de chaque région.

Ensuite nous avons appliquées une fonction pour séparer les régions d'intérêt.

A la fin on a proposé une interface graphique à l'utilisateur qui va guider la segmentation avec le choix de certains paramètres comme le seuil et le nombre de classes.

Conclusion générale

Le genou est un complexe articulaire important des membres inférieurs, c'est lui qui assure la jonction entre la cuisse et la jambe.

Les pathologies du genou peuvent être en cause dans différentes affections, le genou à des pathologies courantes liées à l'âge, aux sports, aux poids..., les pathologies les plus fréquentes (les kystes synoviales, les fractures, épanchement intra articulaire, lymphome synovial).

Dans ce projet nous nous sommes intéressés aux images IRM du genou (cas sain et pathologiques). Nous avons développé un système qui permet la segmentation des structures osseuses, en faisant intervenir l'opérateur par l'introduction de paramètres manuels (seuil, nombre de classes).

Cette segmentation est une étape du traitement (segmentation des autres structures : muscle ligaments...) qui permettra la visualisation 3D précise du genou. Cette visualisation va faciliter aux médecins le diagnostic des pathologies du genoux avec des mesures exactes, et donnera aux chirurgiens la possibilité de planifier certains actes chirurgicaux.

Nous avons commencé par acquérir la base de données réelle au centre d'imagerie médicale Dr. ABDEALLI. La base de données comporte 62 images.

Dans la partie programmation, nous avons commencé par une phase de prétraitement par égalisation d'histogramme et filtrage de Wiener et ceci, pour améliorer la qualité d'images et pour les préparer au traitement suivant.

Ensuite on est passé à l'étape suivante : la segmentation. On a appliqué deux méthodes de segmentation : la segmentation par seuillage manuel et la segmentation par classification (k-means) afin d'extraire l'information recherchée. Ici encore on a un choix manuel de nombre de classe ce qui permet de s'adapter aux régions à détecter (plan osseux, les pathologies, muscles)

Ces dernières étapes que nous avons déjà citées nous ont permis d'extraire les régions d'intérêt qui sont le périmètre, le contraste et le contour et par la suite la sélection automatique des régions qui sont le fémur, la patella, les muscles...).

Les résultats obtenus sont satisfaisants et encourageant pour de futurs développements.

Bibliographie :

- [1] R.Kadi, M.Shahabpour, M., M.DeMaeseneer, Anatomie normal du genou par résonance magnétique, Elsevier Masson SAS, 2015
- [2] V. Delmas, D.Bremond- Gignac, O. Clément, Système articulaire, Elsevier Masson SAS, 2019
- [3] E.Ducouret, P.Loriaut, C.Mounayer, Positionnement des tunnels de ligamentoplastie du croisé antérieurs, Elsevier Masson SAS, 2017
- [4] Dr.J.E Perraudin, Rôle du ligament antérieur, 2021
- [5] Quentin Nicard, Muscle Sartorius, Passeport Santé, 2016
- [6] Quentin Nicard, Biceps Fémoral, Passeport Santé, 2016
- [7] Mickael Clément, Muscles Ischio-Jambiers, 2017
- [8] Elise Magnin, Genou, Passeport Santé, 2016
- [9] Dufour M. Anatomie de l'appareil locomoteur, tome 1. Membre inférieur. 3ème édition. Issy-les-Moulineaux; 2015
- [10] Lacôte M, Chevalier AM, Miranda A, Bleton JP. Evaluation clinique de la fonction musculaire. 6ème édition. Paris, Maloine; 2008.
- [11] Lacôte M, Chevalier AM, Miranda A, Bleton JP. Evaluation clinique de la fonction musculaire. 6ème édition. Paris, Maloine; 2008
- [12] Delavier F. Guide des mouvements de musculation. 5ème édition. Paris : Vigot ; 2009
- [13] Hajjabadi, Alli, Segmentation robuste et automatique du cartilage du genou sur des images d'IRM, Université Laval, 2017
- [14] Houda Gharsallah-Mezlini, Segmentation 3D de l'interligne articulaire pour l'imagerie basse dose dans le diagnostic précoce de la gonarthrose, theses.fr,2016
- [15] Sahar Hassan, Franck Hétroy, Olivier Palombi, Segmentation de maillage guidée par une ontologie, HAL-Inria, 2010
- [16] Sarazin, Alexandre, segmentation précise des structures de l'articulation du genou sur des radiographies EOS de face, Espace ETS, 2018
- [17] Mr. A.BESSAID, "Segmentation par LPE, Filtre morphologiques, cours de traitement d'image morphologique, université de TLEMCEM
- [18] Mr.Messaadi,Classification, Segmentation ,Cour de traitement d'image , université de TLEMCEM
- [19] Le Traitement D.Images Avec Silverlight 5, Patrice Rey, edition ,decembre 2012
- [20] S. BEUCHER, Segmentation d'image et morphologie mathématique. PhD thesis, Mines ParisTech, 2014.