



جامعة أبو بكر بلقايد - تلمسان

Université Abou Bakr Belkaid de Tlemcen

Faculté de Technologie

Département de Génie Biomédical

Laboratoire de Recherche de Génie Biomédical

MEMOIRE DE PROJET DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du Diplôme de

MASTER en GENIE BIOMEDICAL

Spécialité : Informatique Biomédicale

Présenté par : SAIDI Hanane et TAHLAL Marwa Assia

**COLLECTION D'UNE BASE DE DONNEES A
L'AIDE DE TOPOGRAPHIES CORNEENNES**

Soutenudevant le Jury

Mme.	HEDEILI Nawel	<i>MAA</i>	Université de Tlemcen	Président
Mr.	LAZOUNI Mohamed	<i>MCA</i>	Université de Tlemcen	Encadreur
	El amine			
Mme.	SETTOUTI Nesma	<i>MCA</i>	Université de Tlemcen	Examineur

Année universitaire 2020-2021

Je dédie ce travail :

A mes chers parents.....pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études,

A mes grandes mères.....qui prient toujours pour moi et à laquelle je tiens tant,

A mes sœurs.... Pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral,

A mon cher frère..... Pour leur appui et leur encouragement,

A mon binôme..... Pour tout ce qu'il a fait pour la réussite de ce travail,

A mes amies.....pour les moments inoubliables que nous avons passés ensemble,

A toute ma famille... Pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire,

A la personne la plus proche de mon cœur.....pour la patience et le soutien dont il a fait preuve pendant toute la durée de ce travail

Merci d'être toujours là pour moi.

SAIDI Hanane

Je dédie ce modeste travail à

Mes très chers parents ; je ne saurai jamais m'exprimer quant aux sacrifices et aux dévouements que vous avez consacré à mon éducation et à mes études. Aucune dédicace n'est assez éloquente pour exprimer mon respect, ma considération et ma profonde gratitude.

A ma très chère sœur : Safa Leila ; qui m'a toujours soutenu et encouragé pour faire de mon mieux dans la vie, en plus de son soutien et son assistance, son amour, son aide et son encouragement dans la réalisation de ce travail.

A mes frères Hakim et Smail ; qui ont mon bras droit et le support sur lequel je m'appuie.

Ma moitié Setti qui est toujours mon âme sœur et mon sourire.

A ma copine Timouche qui me reste tjrs la lune et la fleure qui parfume de ma vie.

A mon binôme hanane qui a contribué à la réalisation de ce modeste travail.

A mes amis de toujours et ma petite famille :

Zineb, Wided, Nacera, Saliha, Salsabil, Karima, Iness, Aicha, Rym ...En souvenir de notre sincère et profonde amitié et des moments agréables que nous avons passés ensemble, je regrette de ne plus vous voir aussi souvent.

A la personne...qui a tjrs été à mes côtés et m'a remonté.

A tous mes amies de promotion GBM.

TAHLAL Assia Marwa

Remercîment

Je tiens tout d'abord à remercier ALLAH le tout puissant de m'avoir donné le courage, la force et l'aide nécessaire tout au long de mon parcours éducatif. J'adresse mes sincères remerciements à toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques m'ont guidé et ont participé au succès de ce travail.

*Nous tenons à exprimer toute notre reconnaissance à notre encadreur **Mr LAZOUNI Mohamed El Amine**. Nous le remercions de nous avoir encadrés, orienté, aidé et conseillé. On est reconnaissantes pour le temps conséquent qu'il nous a accordé, ses qualités pédagogiques et scientifiques, sa franchise et sa sympathie. On a beaucoup appris à ses côtés et on lui adresse notre gratitude pour tout cela.*

*Nous tenons ensuite à remercier les membres du jury, Mm N. **SATTOUTI** enseignante au département de génie biomédical, à qui nous adressons l'expression de notre parfaite reconnaissance pour avoir accepté de présider notre jury. Nous adressons nos remerciements à Mm N. **MEKKIOUI** enseignante au département de génie biomédical, d'avoir accepté d'examiner notre travail et de participer à ce jury.*

Mes remerciements s'adressent aussi à Monsieur **KADRI Benamar**, dont les remarques pertinentes, les observations et les conseils m'ont permis d'améliorer ce travail.

Un grand remerciement pour tous les enseignements du département du GBM et spécialement les Ibmistes pour leurs efforts durant tous notre chemin universitaire.

*Il nous est particulièrement agréable de remercier **Dr. LAZOUNI** Médecin spécialiste en ophtalmologie, qui nous a ouvert les portes de sa clinique, ainsi que tout le personnel de la clinique LAZOUNI.*

Enfin nous remercions tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'aboutissement de ce travail.

Résumé

Le kératocône est une maladie oculaire qui se manifeste par une déformation de la cornée qui s'amincit progressivement, perd sa forme sphérique et prend une forme de cône irrégulier, dont sa reconnaissance a besoin des experts et des images topographiques de l'œil qui fournissent un ensemble de données.

La mise en œuvre des méthodes reposant sur la détection précoce des signes cliniques du Kératocône permet d'améliorer le diagnostic de ces maladies et empêche leur évolution.

Ce mémoire correspond à une collection d'une nouvelle base de données des patients de différentes régions ; ils ont subi un examen de la topographie cornéenne à l'aide un topographe du type Orbsacn III. Nous avons aussi créé un site web qui facilite la tâche aux experts de la santé pour la recherche et la gestion des données ainsi que la classification des cas malades.

Mots clé : Kératocône, cornée, topographie cornéenne ; stade ; classification.

Abstract

Keratoconus (KC) is a disorder of the eye that results in progressive thinning of the cornea. This may result in blurry vision. Usually both eyes are affected. The implementation of methods based on the early detection of clinical signs of Keratoconus improves the diagnosis of these diseases and prevents their progression.

In this work, a collection of a new database of patients from different regions, they underwent a corneal topography examination using an Orbsacn III topographer. We have also created a website that makes it easier for health experts to research and manage data and classify sick cases.

Keywords: Keratoconus, cornea, corneal topography, Stadium , classification.

ملخص

القرنية المخروطية هو مرض العين يتمثل في تشوه شكل القرنية حيث تفقد تدريجيا شكلها الكروي وتأخذ شكلا مخروطيا غير منتظم، والتعرف عليه يتطلب وجود أطباء مختصين في طب العيون، بالإضافة إلى الصور الطبوغرافية للعين التي توفر مجموعة من البيانات التي تساعد على تشخيص والكشف المبكر لهذه الأمراض وتثبيط تقدمه. هذه الأطروحة عبارة عن مجموعة من قاعدة بيانات جديدة للمرضى من مناطق مختلفة؛ لقد خضعوا لفحص طبوغرافيا القرنية باستخدام طبوغرافيا نوع Orbscan III. لقد أنشأنا أيضًا موقعًا إلكترونيًا يسهل على خبراء الصحة البحث وإدارة البيانات وتصنيف الحالات المرضية.

كلمات البحث: القرنية المخروطية، القرنية، تضاريس القرنية، مستوى المرض التصنيف

Glossaire

AETP : Élévation antérieure du point le plus faible.
AUC : Area-Under-the-Curve.
AUROC : Area Under the Receiver Operating Characteristic.
AvPI : Average Progression Index.
BDD : Base De Données.
CCT : Central Corneal Thickness.
CDVA : Corrected Distance Visual Acuity.
CV3 : Corneal Volume values for the 3.0 mm.
CV5 : Corneal Volume values for the 5.0 mm.
CV7 : Corneal Volume values for the 7.0 mm.
CXL : Cross-linking cornéen.
D : Dioptries.
DCT : Depressed Corneal Thickness.
FFKC : Kératocône Fruste Forme.
FN : faux négatif.
I-S : valeur Inférieure – Supérieure.
K : Kératométrie centrale.
KC : Kératocône.
KISA : Keratoconus percentage index.
KPI : Keratoconus Prediction Index.
K1 : meridian keratometry.
K2 : steep keratometry.
LASIK : LASER in SITUE tu Keratomileusis.
MaxPI : Maximum Progression Index.
MCT : Minimum Corneal Thickness.
MinPI : Minimum Progression Index.
MLP : Multilayer Perceptron.
MPE : Élévation Postérieure Maximale.
OCT : Tomographie par Cohérence Optique.
PTI : Percentage Thickness Increase.
Q: Facteur d'asphéricité.
RBFNN: Radial Basis Function Neural Network.
ROC: Receiver Operating Characteristic.
SVM: Support Vector Machine.

VP : vrai positif.
VN : vrai négatif.
Z3 : Indice de Schwiegerling.

Table des figures

Figure1.1 : Une cornée normale et une cornée atteinte du kératocône.....	25
Figure1.2 : Kératocône vu de profil.....	25
Figure1.3 : La vision chez un patient non malade et un patient touché par le kératocône.....	26
Figure1.4 : La structure de la cornée.....	26
Figure1.5 : Stades du kératocône.....	28
Figure1.6 : Analyse cornéenne topographique avec orbscanIII.	29
Figure1.7 : Traduction du code des couleurs dans une topographie cornéenne.....	31
Figure1.8 : Echelle d'élévation.....	31
Figure1.9 : La Best Fit Sphère.....	32
Figure1.10 : cross_linking du collagène.....	33
Figure1.11 : anneaux intra-cornéenne à gauche avec une zone optique de 7mm et Ferrara-keraning à droite avec zone de 5mm.....	33
Figure1.12 : greffe de la cornée.....	34
Figure2.1 : Les patients touchés par le kératocône selon le sexe de notre BDD.....	26
Figure2.2 : Les patients non malade selon le sexe de notre BDD.....	26
Figure2.3 : Répartition de notre base de données selon l'âge.....	27
Figure2.4 : Patients collectés dans notre BDD durant les 04 dernières années.....	27
Figure2.5 : Répartition des données selon les wilayas.....	28
Figure2.6 : le VP et le VN.....	31
Figure2.7 : le FN.....	31
Figure2.8 : Carte topographique d'un cas sein et d'un patient malade.....	32
Figure2.9 : Affichage Max.....	33
Figure2.10 : Echelle de couleurs.....	34
Figure2.11 : le MCD.....	38
Figure2.12 : Le MLD.....	39
Figure2.13 : cas d'utilisation « diagramme cas d'utilisation d'un patient ».	43

Figure2.14 : diagramme de séquence « authentification »	45
Figure2.15 : diagramme de séquence « ajouter patient »	46
Figure2.16 : diagramme de séquence « modifier patient »	47
Figure2.17 : diagramme de séquence « rechercher patient »	48
Figure2.18 : diagramme de séquence « liste des patients »	49
Figure2.19 : diagramme de séquence « consulter patient »	50
Figure2.20 : structure fichier HTML	52
Figure2.21 : arborescence du site	54
Figure2.22 : interface d'authentification	55
Figure2.23 : interface page d'accueil	55
Figure2.24 : interface d'ajouter patient	56
Figure2.25 : interface ajouter visite	57
Figure2.26 : interface ajouter visite.....	57
Figure2.27 : interface de rechercher patient	58
Figure2.28 : interface de nouvelle visite à un patient déjà enregistré.....	58
Figure2.29 : interface de visualiser les informations du patient	59
Figure2.30 : interface du supprimer ou modifier patient (1)	59
Figure2.31 : interface du supprimer ou modifier patient (2)	59
Figure2.32 : interface d'insérer ou supprimer un utilisateur	60
Figure2.33 : interface de remplir les informations de l'utilisateur.....	60
Figure2.34 : interface d'affichage de liste.....	60
Figure2.35 : interface d'accueil de XAMPP	61
Figure2.36 : interface du phpMyAdmin	62
Figure2.37 : interface du Notepad	63

Liste des tableaux :

Tableau1.1 : stades du kératocône	9
Tableau1.2 : résumé des travaux	28
Tableau2.1 Répartition des patients dans la BDD.....	43
Tableau2.2. Les descripteurs de la base de données collectée.....	47

Tableau2.3 liste des cas d'utilisation.	58
--	----

Table des matières :

Introduction générale

1. Contexte.....	2
2. Problématique	2
3. Contribution	3
4. Organisation du manuscrit	3

Chapitre 1 : contexte médicale

1. Introduction.	5
2. Définition de la maladie du kératocône.	5
3. Anatomie pathologique de la maladie du kératocône.....	7
4. Le diagnostic de la maladie du kératocône	8
5. Evolution de la maladie du kératocône.....	10
6. La détection du kératocône par la topographie cornéenne	11
6.1. Définition de la topographie cornéenne	11
6.2. Affichage d'une topographie cornéenne.....	11
7. Traitement du kératocône.....	13
7.1. Correction optique par lunette	13
7.2. Correction optique par lentille de contact	13
7.3. Correction chirurgicale	13.
7.3.1. Cross-linking du collagène cornéen.....	13
7.3.2 Anneaux intra-cornéens.....	14
7.3.3. La greffe de cornée.....	15
8. Conclusion.....	15

Chapitre2 :  tat de l'art :

1. introduction.....	17
2. Approche de classifications numériques	17
2.1. Classification par support vecteur machine.....	17
2.2. Classification par réseaux de neurones.....	18
2.3 Classification par l'arbre de décision.....	19
2.3. Autre approche	20
3. Conclusion.....	23

Chapitre3 : Base de données collectée et application.

1. Introduction.....	25
2. Définition d'une base de données.....	25
3. Description de la base de données collectée.....	26
3.1. Les descripteurs numériques de notre base de données.....	26
3.2. Les images des patients de notre base de données.....	34
4. Définition d'un site web.....	37
5. Type du site web	38
6. Les étapes de la conduite d'un site web.....	38
7. la mise en pratique	39
7.1. Analyse des besoins et conception.....	39
8. Conception du système.....	40
8.1.1. Présentation de MCD et MLD	40
8.1.1. Le modèle conceptuel de données.....	40
8.1.2. Le modèle logique de données.....	41
9. Présentation de langage UML.....	42
9.1. Définition UML.....	42
9.2. Les différents types du diagramme.....	43
9.3. Diagrammes UML.....	44
9.3.1. Diagramme de cas utilisation.....	44
9.3.2: diagramme de séquence.....	46
9.4. Réalisation du site web.....	53
9.5. Présentations du site.....	54
9.5.1 Arborescence d'application.....	55
9.5.2. Présentation des interfaces.....	55
9.5.2.1. Interfaces homme machine.....	63
9.5.2.2. Interfaces de la plateforme.....	65
10. Conclusion.....	79

Conclusion générale.....	81
Référence bibliographique.	82



**Introduction
Générale**

1. Contexte :

La vue est le sens qui permet de réagir à l'environnement distant au moyen des rayonnements lumineux, est un ensemble de fonctions qui contribuent à la perception, l'identification, la localisation des différentes scènes de la vie, L'œil est l'organe de la vue, mais la vision, c'est-à-dire la perception visuelle,

Des petites faiblesses de la vue peuvent être très gênantes dans la vie quotidienne ; dans certaines circonstances elles représentent même un danger. A côté des amétropies connues il y a le kératocône.

Le kératocône touche la partie sensible de l'œil d'un degré différent d'un patient à un autre, et plus précisément la cornée ; c'est une maladie cornéenne dégénérative se manifestant par une protrusion non inflammatoire et un amincissement de la cornée dans sa région axiale, alors une ectasie axiale progressive, typiquement asymétrique qui apparaît préférentiellement à la fin de l'adolescence ou au début de l'âge adulte.

C'est une atteinte évolutive qui progresse par alternance de phases de stabilisation et de phases de poussée. Normalement, le kératocône finit par se stabiliser et ne plus évoluer après un certain âge. Cette déformation est problématique car elle est responsable d'une vision floue, déformée, même dédoublée.

La détection de cette maladie se fait par plusieurs appareils la topographie cornéenne reste l'examen le plus fiable (détection précoce et faire un bon suivi).

2. Problématique :

Le kératocône est une affection dont l'origine est inconnue reste toujours idiopathique, même si certains de ses facteurs de risque ont été identifiés. Il est difficile d'estimer la prévalence des formes cliniquement silencieuses de kératocône, pour une raison qui est intrinsèque au problème soulevé par leur dépistage.

L'objectif de ce mémoire concerne la collection d'une nouvelle base de données avec la topographie cornéenne en utilisant un topographe de marque Bausch & Lomb type Orbscan III. Ainsi l'amélioration du pouvoir détecter le kératocône de façon automatique, en se basant sur des paramètres numériques et des images de cartes topographiques.

Dans ce contexte, nous avons établi un système d'aide au diagnostic qui est un site web réalisé par le PHP MyAdmin et le HTML, afin d'introduire les images et les valeurs numériques.

3. Contribution :

Notre travail de recherche dispose les contributions suivantes :

- Collecte d'une base de données composée de 847 patients lors de la réalisation des examens de topographie cornéenne.
- Identifier les patients qui sont atteints du kératocône et les patients sains.
- Calculer les différents stades de cette maladie.

Enfin, nous avons proposé un site web pour les médecins ophtalmologues permettant la recherche, le suivi, l'affichage des images, ainsi que la détection automatique des stades du kératocône.

4. Organisation du manuscrit :

Notre projet de fin d'étude s'articule de la façon suivante :

- **Chapitre 01** : Dans le premier chapitre, nous donnons un aperçu général sur le kératocône (KC), les symptômes, l'anatomie pathologique, le diagnostic et les différents stades de cette maladie, l'évolution, ainsi que les traitements éventuels.
- **Chapitre 02** : Dans une première section de ce chapitre, nous passons en revue les différentes techniques de classification telles que SVM, réseau de neurones, arbre de décision ; Dans la dernière section de ce chapitre, nous présenterons l'état de l'art des approches de classification et la détection automatique du kératocône.
- **Chapitre 03** : Ce chapitre concerne la description de notre propre base de données qui est divisée en une base d'images de 3048 échantillons composée de 4 types d'images et la procédure suivie pour les obtenir, et une base de données numériques exploitée dans un site web.



Présentation du kératocône

1. Introduction :

Le kératocône est une maladie dégénérative de l'œil plus exactement de la cornée. Plusieurs chercheurs s'intéressent à l'étude de cette maladie par rapport à son origine, son étiologie et sa prévalence afin de proposer un traitement capable de la guérir et de stopper son évolution.

Dans ce chapitre, nous allons donner un aperçu général sur la maladie du kératocône : une définition, son diagnostic, son évolution, ces différents stades ainsi que son traitement et on termine par une conclusion.

2. Définition de la maladie du kératocône :

Le mot kératocône est d'origine grecque. Il est composé de deux mots qui sont : kerato et konos qui signifie une cornée conique.

Cette maladie a été découverte par Mr Duddel en 1729. C'est une maladie qui touche l'œil et plus exactement la cornée.

La maladie du kératocône est une maladie idiopathique c'est à dire sans cause connue. Les experts et les chercheurs pensent qu'il s'agit probablement d'une maladie génétique est de nature héréditaire liée à la croissance des hormones, la trisomie 21, le syndrome de Marfan et le syndrome d'Ehlers-Danlos.

Le problème de cette maladie est qu'elle fait son apparition à l'adolescence et elle évolue jusqu'aux débuts de l'âge adulte. L'âge moyen de se situe classiquement entre 10 et 20 ans, 82 % avant l'âge de 40 ans.

Le kératocône est en général bilatéral, il peut être unilatéral dans environ 14 % des cas. Les formes familiales semblent proches de 40 % et dépistées seulement dans 20 % des familles.

Le kératocône est une maladie qui se manifeste par une protrusion non inflammatoire et un amincissement de la cornée dans sa région axiale, qui se traduit par une perte de la sphéricité de la cornée qui prend alors la forme d'un cône. Il entraîne une diminution de l'acuité visuelle du fait de là à un stade avancé.

Les effets du kératocône varient selon les individus et peuvent être de légers à graves et les symptômes de cette maladie apparaissent dans une vision floue qui ne se corrige pas avec les lunettes ainsi qu'une sensibilisation à la lumière.

Toutes les races peuvent être atteintes par le kératocône, et peuvent être touchés indifféremment les personnes des deux sexes mais celui-ci serait plus fréquent chez les Asiatiques. La prévalence varie largement de 0,0003% c'est environ 2 cas pour 100 000 habitants, en Russie [1] à 2,3% dans Maharashtra, en Inde c'est de 2300 pour 100 000 [1], en Amérique 0.05% de 1 pour 500. [2] en France dans la série étudiée au CHU de Toulouse, sur

les 59 derniers cas de kératocônes opérés dans le service, 32,2 % étaient des femmes ; le kératocône était unilatéral dans 10,1 % des cas [3]. Varie de 50 à 230/100 000 habitants

La figure qui suit montre une cornée normale sur la gauche et une cornée présentant un kératocône sur la droite. On remarque bien que la cornée est déformée vers l'avant. (Voir Figure 2).

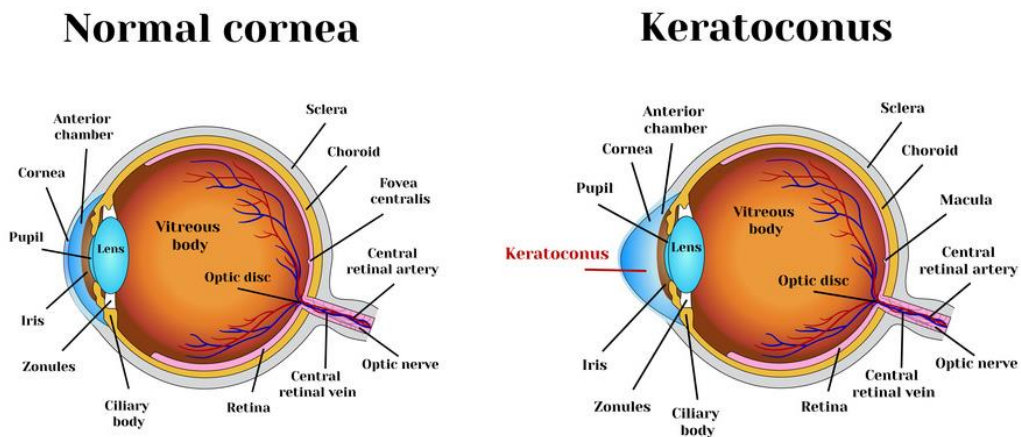


Figure1.1 : Une cornée normale et une cornée atteinte du kératocône



Figure1.2 : Kératocône vu de profil.

Le kératocône engendre des troubles de la vision : vue brouillée et déformée qui nécessitent le port de lunettes, lentilles spécialisées (rigide). La figure qui suit montre la vision chez un patient sain et un patient malade.

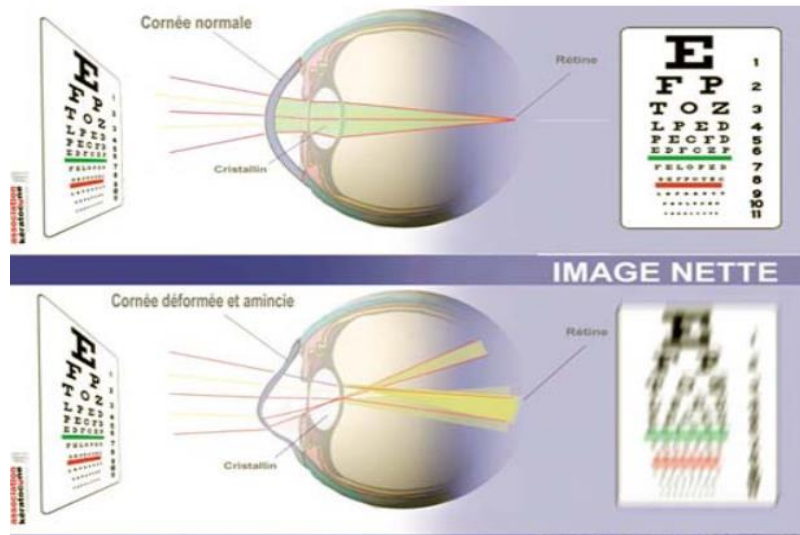


Figure1.3 : La vision chez un patient non malade et un patient touché par le kératocône

3. Anatomie pathologique de la maladie du kératocône :

Le kératocône touche principalement la cornée. Cette dernière est la partie antérieure transparente du globe oculaire. Elle a une forme asphérique. Elle transmet la lumière au cristallin et à la rétine. Comme le montre la figure suivante, la cornée est composée de quatre couches de cellules et de 2 membranes. De la superficie vers l'humeur aqueuse qui sont : l'épithélium, la membrane de Bowman, le stroma cornéen, la couche de Dua, la membrane de Descemet et l'endothélium cornéen ; comme il est présenté dans la figure suivante. [4]

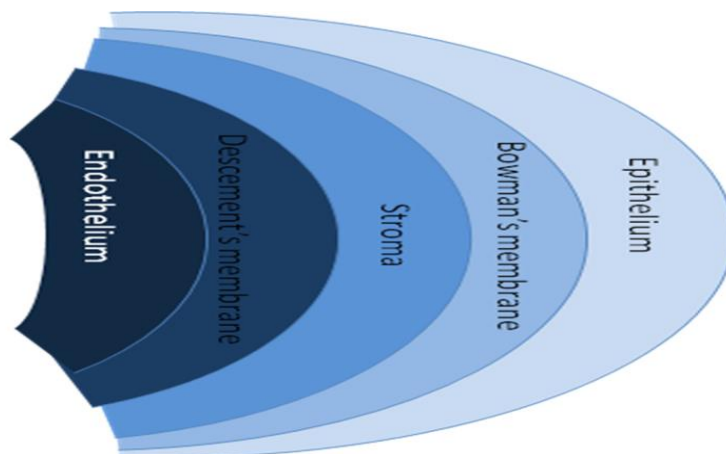


Figure1.4 : La structure de la cornée

Dans la partie qui suit nous allons définir ces parties.

L'épithélium : La gravité et de la durée du kératocône. Affectent de différentes manières sur l'épithélium, Il y a une atrophie de l'épithélium avec deux ou trois couches de cellules au lieu de six ou sept habituel. Il endommage les couches basales et intermédiaires. [1]

La membrane basale épithéliale : Elle est très irrégulière, au niveau de la lamina densa, la présence de dépôts très osmiophiles homogènes, paraissant s'infiltrer dans la membrane de Bowman. [1]

La membrane de Bowman : Elle perd sa structure homogène, prend un aspect fibrillaire avec des épaissements localisés, et les lésions ne sont pas pathognomiques du kératocône, mais c'est dans cette affection qu'elles sont retrouvées avec la plus grande fréquence. [1]

Le stroma : L'amincissement du tissu stromal, maximal dans la zone centrale du kératocône, n'est pas dû à une diminution propre des lamelles de collagène. Au niveau du stroma moyen et profond, il y a souvent une désorganisation des lamelles stromales avec une perte de parallélisme de ces lamelles. Ainsi, il présente fréquemment des ondulations anormales. [1]

Membrane de Descemet : Ces lésions sont moins caractéristiques. Il s'agit de déformations d'ondulations, parfois d'encoches et de rupture en coup d'ongle, et essentiellement dans les kératocônes aigus. [1]

Endothélium cornéen : Typiquement, la mosaïque endothéliale est conservée lors du kératocône et la densité cellulaire est normale pour l'âge. Cependant, les espaces entre les noyaux peuvent être irréguliers et un polymégathisme cellulaire peut exister en rapport avec un étirement des cellules dans le sens de la protrusion conique antérieur. [1]

4. Le diagnostic de la maladie du kératocône :

Le diagnostic de la maladie du kératocône se fait par un ophtalmologiste ou par un optométriste. Il est difficile de diagnostiquer précocement un kératocône. Les modifications visuelles sont peu importantes au début de la maladie (stade 1) et elles ressemblent à des troubles de la vision classiques comme la myopie ou l'astigmatisme par exemple. L'examen ophtalmologique met d'abord en évidence :

- Une cornée déformée ainsi qu'un amincissement cornéen.
- Une baisse d'acuité visuelle.
- Une carte topographique de la cornée doit être réalisée.

5. Evolution de la maladie du kératocône :

La maladie du kératocône débute à la puberté en générale. Le cône peut :

- Rester stationnaire.
- Il peut évoluer rapidement sur trois à cinq ans ou lentement.
- Il peut s'arrêter.

Comme le montre le tableau ci-dessous, le kératocône peut être classé selon différents stades.

Stade I	Inconfort visuel, baisse d'acuité visuelle avec astigmatisme.
Stade II	La myopie s'associe à l'astigmatisme.
Stade III	Aggravation des troubles visuels et apparition d'une déformation (Protubérance) bien visible de la cornée.
Stade IV	Amincissement associé à une perte de transparence (cicatrices ou opacités au sommet du cône) et risque de kératocône aigu.

Tableau 1.1 : Les stades du kératocône

La figure ci-dessous, montre les différents stades du kératocône obtenue par la Tomographie par Cohérence Optique (OCT). [5]

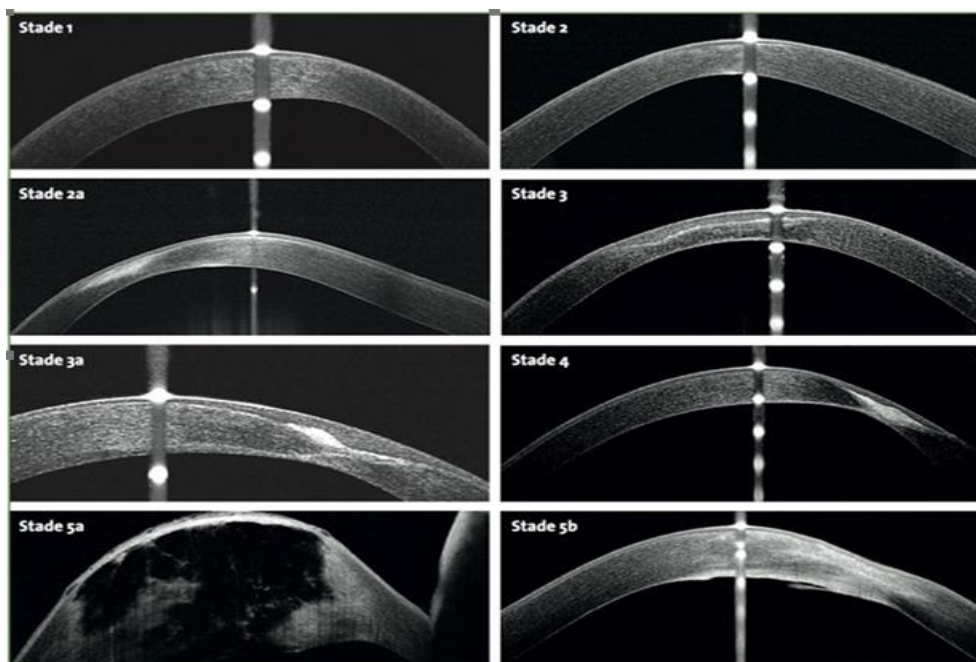


Figure1.5 : Stades du kératocône

6. La détection du kératocône par la topographie cornéenne :

Le kératocône peut être détecté par les experts en utilisant les appareils suivants :

La lampe à fente, l'OCT, l'abérométrie, ainsi que la topographie cornéenne qui fait l'objet de notre travail.

6.1. Définition de la topographie cornéenne :

La topographie cornéenne est un examen indispensable à la détection et au suivi du kératocône. Cet examen fut l'une des premières techniques modernes d'imagerie en ophtalmologie. Initialement limitée pour raisons techniques à l'étude de la face antérieure de la cornée, elle permet de recueillir des informations relatives à la courbure ou au relief (élévation) de la cornée, grâce à la projection et l'analyse du reflet d'un motif lumineux éclairant ou balayant la cornée, les images obtenues sont traduites en cartes de couleur à l'aide des programmes.[6]

La topographie cornéenne effectue une analyse systématique de la cornée, ce qui nous permet de connaître sa forme dans les moindres détails, la cornée apparaît avec une interface antérieure et une autre postérieure ; par conséquent, on distingue deux grandes catégories de la topographie cornéenne : la topographie antérieure (avec le disque Placido) ainsi que la topographie postérieure (d'élévation).

Dans la partie suivante, on va présenter les deux techniques.

6.1.1. Le disque de Placido (antérieure) :

Utilisent l'analyse informatique de la réflexion spéculaire des images projetées sur la face antérieure de la cornée qui se comporte comme un miroir convexe grâce au film lacrymal, basés sur le disque de Placido sont des outils précieux dans l'évaluation de la courbure et de la réfraction cornéenne (voir la figure1.6).[6]



Figure1.6 : Analyse cornéenne topographique avec OrbscanIII.

6.1.2. Les topographes d'élévation (postérieure) :

Fournissent une estimation directe de l'élévation de la cornée, établissant ainsi une vraie carte en trois dimensions de la forme de la surface cornéenne antérieure et postérieure.

L'étude des cartes d'élévation a permis de proposer de nouveaux critères diagnostiques dont la validité reste cependant à prouver. Ce type d'examen mesure directement les coordonnées spatiales et de surface cornéenne en utilisant le balayage d'une fente lumineuse ou la rotation d'une caméra Scheimpflug. [6]

Les données d'élévation de la face postérieure permettent de déduire l'épaisseur de la cornée grâce à une carte de pachymétrie. Certains appareils (comme l'Orbscan™ de TMS-5® de Tomey) combinent les deux techniques (Placido et élévation), d'autres produisent les topographies de type spéculaire et d'élévation à partir d'une acquisition par principe de caméra Scheimpflug (Pentacam™ d'Oculus, Galilei™ de Zimmer).

Dans ce projet de fin d'étude, la collecte des données a été faite par un topographe de marque Bausch & Lomb type Orbscan III.

Cet appareil offre aux chirurgiens la possibilité d'examiner l'astigmatisme antérieur, postérieur, la pachymétrie optique, et la puissance axiale (carte kératométrique) fournissant des points de données sur la biomécanique et la stabilité de la cornée qui peuvent éclairer les choix chirurgicaux et identifier les candidats appropriés pour toutes ces procédures.

6.2. Affichage d'une topographie cornéenne :

Les résultats d'une topographie cornéenne peuvent apparaître dans des données de différentes formes, cette différenciation change selon l'objectif de son analyse ; on distingue quelques affichages :

6.2.1. Code des couleurs :

- Les couleurs chaudes (jaune, orange, rouge, violet) représentent ce qui est bombé. (Définis les cas Kératocône), les plus petits rayons de courbure en mm = fortes puissances en dioptries.
- Les couleurs froides (bleu ciel jusqu'au vert) représentent ce qui est plat (les grands rayons de courbure en mm = faibles puissances en dioptrie)
- Le vert est utilisé pour définir la valeur normale. [7]

Les figures 1.7 et 1.8 ci-dessous expliquent l'affichage des couleurs dans une topographie cornéenne. [8]

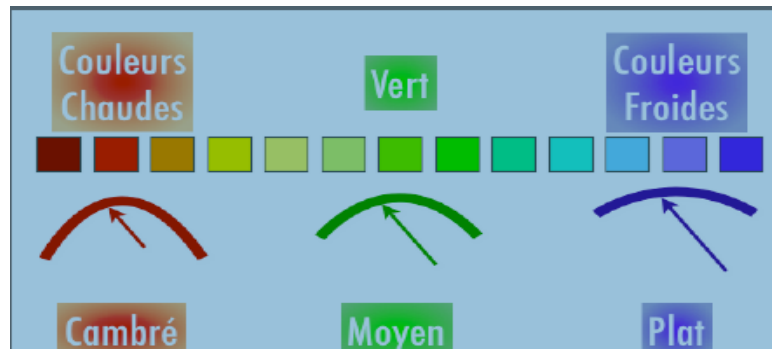


Figure1.7 : Traduction du code des couleurs dans une topographie cornéenne

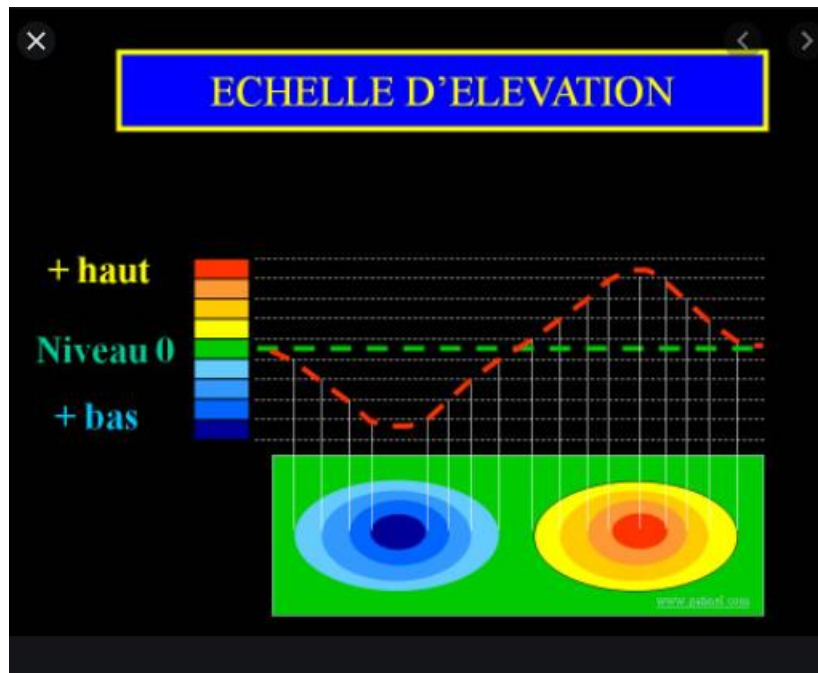


Figure1.8 : Echelle d'élévation.

La topographie d'élévation fait référence à la distance au-dessus ou au-dessous de laquelle se situent les points de la surface cornéenne, vis-à-vis d'une surface de référence qui est la **Best Fit Spher (BFS)** (la meilleure sphère possible) afin de faire un affichage selon les codes de couleurs (Froid, normal ou chaud).[9]

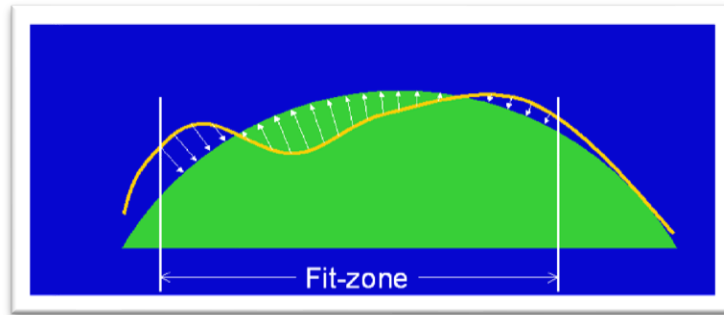


Figure1.9 : La Best Fit Sphère.

7. Traitement du kératocône :

Les traitements proposés pour la maladie du kératocône ne sont pas les mêmes. Les experts proposent le traitement en fonction du stade de la maladie. Les objectifs des différents traitements sont les mêmes : stabiliser ou corriger la déformation de la cornée pour éviter ou retarder le recours à la greffe de la cornée (stade finale) ainsi qu'une réhabilitation de la vision.

7.1. Correction optique par lunette :

Au cours de la progression du kératocône, le degré d'astigmatisme cornéen irrégulier augmente du fait de la distorsion provoquée par la déformation de l'ectasie cornéenne ; Il en résulte des difficultés à obtenir une réfraction adéquate ; La prescription en lunettes est par conséquent moins efficace, ne donnant pas de résultats optiques convenables, en particulier dans les stades avancés de la maladie. Mais il est possible de prescrire des lunettes à un stade précoce. [1]

7.2. Correction optique par lentille de contact :

En fin de compte, ce traitement est le meilleur dans presque tous les cas de kératocône, Les lentilles rigides donnent de meilleurs résultats que les lentilles souples mais ne sont pas toujours facilement tolérées. En cas de kératocône évolué, les patients peuvent ne plus tolérer les lentilles ; cependant, des preuves raisonnables montrent que la cornée peut présenter des cicatrices, avec ou sans le port de lentilles de contact. Il n'est pas possible d'établir de pronostic de cette maladie et sa progression est variable. [1]

7.3. Correction chirurgicale :

La chirurgie est l'une des méthodes destinées aux patients ne tolérant plus la correction optique, où la gravité du kératocône est importante. En citant des types de chirurgies :

7.3.1. Cross-linking du collagène cornéen :

Le cross-linking du collagène cornéen a pour but de « rigidifier » une cornée biomécaniquement instable pour stabiliser la maladie ; le principe repose sur un « pontage » biochimique photo-induit des fibres de collagène par combinaison de riboflavine (vitamine B2) et d'UV-A. (figure1.10) ; Cette technique permet de stopper l'évolution du kératocône dans 90% des cas ; [10].



Figure1.10 : cross_linking du collagène

7.3.2. Anneaux intra-cornéens :

Ces anneaux rigides en PMMA, implantés dans la cornée après avoir creusé leur tunnel au laser femtoseconde, en diminuant l'astigmatisme asymétrique, sans enlever de tissu cornéen et sans toucher le centre de la cornée (figure1.11) ; Le choix de l'anneau dépendra de l'équivalent sphérique préopératoire, de la localisation du cône, de l'asymétrie de la déformation et de la pachymétrie. Une correction optique par lunettes ou lentilles est souvent nécessaire après anneaux.

Les anneaux intra cornéens fonctionnent mieux quand le kératocône n'est pas trop évolué car la réduction du bombement est modérée. En cas de kératocône trop évolué, on ne propose pas les anneaux. [11]

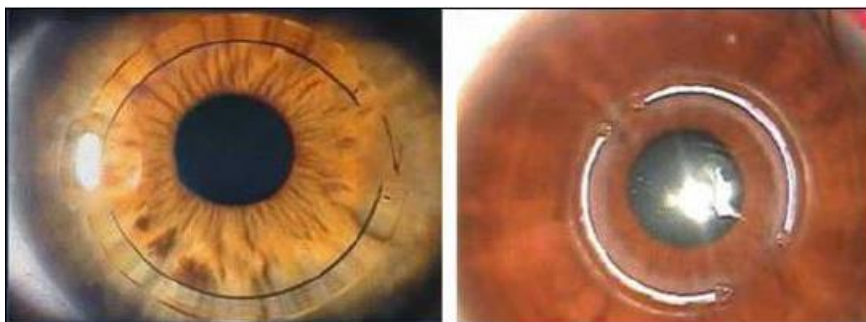


Figure1.11 : anneaux intra-cornéenne à gauche avec une zone optique de 7mm et ferraro-keraning à droite avec zone de 5m.

7.3.3. La greffe de cornée :

La greffe de cornée est proposée dans cas de kératocône trop évolué (bombement majeur, cicatrices cornéennes, baisse d'acuité visuelle profonde) ; c'est à la fois optique pour restaurer l'acuité visuelle, mais aussi tectonique pour restaurer l'intégrité cornéenne en épaisseur et en forme. Elle est une intervention chirurgicale lourde alors, elle reste en dernier recours, la kératoplastie transfixiante (KT) a perdu cette place au profit de la kératoplastie lamellaire antérieure profonde (KLAP) pré-descemétique. Les avantages sont une meilleure résistance mécanique, une acuité visuelle et un astigmatisme postopératoire identiques, mais surtout la conservation endothéliale. Si le risque de rejet épithélial, sous-épithélial ou stromal persiste après KLAP, le risque de rejet endothélial est nul. La survie des greffons lamellaires semble ainsi rallongée. En dehors de la courbe d'apprentissage de la technique, la KLAP présente des complications propres dont la principale, la perforation peropératoire des couches profondes endothélio-descemétiques, peut nécessiter une conversion en KT (figure1.12) [12].

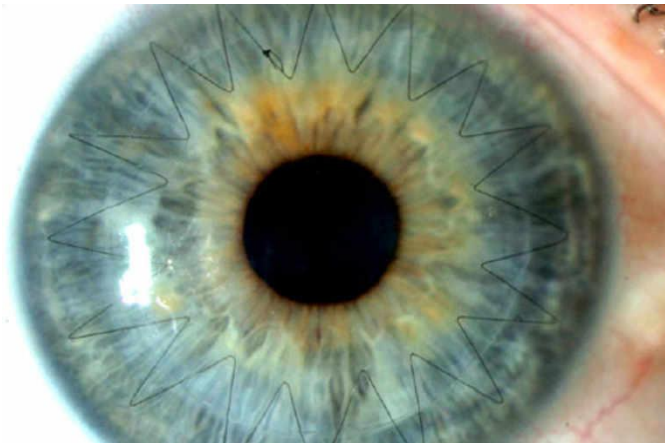


Figure1.12 : greffe de la cornée.

8. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté le concept médical du kératocône, une anatomie de la cornée car ce dernier fait une déformation de la cornée. Nous avons parlé aussi de la prévalence, la détection et le traitement de cette maladie. Le chapitre suivant sera consacré l'état de l'art de la détection automatique du kératocône.



Etat de l'art

1. Introduction :

Le kératocône présente un sujet d'actualité critique en touchant la partie sensible de l'œil qui est la cornée. Plusieurs techniques d'apprentissage automatique ont été développées pour la détection précoce du kératocône, pour cela plusieurs chercheurs ont travaillé sur cette recherche où ils ont donné une variété de résultats en utilisant les entrées d'une gamme d'appareils d'imagerie cornéenne. Ces techniques démontrent une très bonne différenciation des yeux normaux, kératoconiques et de formes frustes.

Cependant, il est difficile de comparer directement ces études, car le kératocône représente un large spectre de maladies. Plus important encore, aucune base de données publique n'existe pour faire de la recherche.

Malgré ces défis, l'apprentissage automatique dans la détection du kératocône est un domaine d'étude en plein essor, avec un potentiel important de progrès continu à mesure que les appareils et les techniques d'imagerie deviennent de plus en plus sophistiqués.

Dans ce chapitre, nous allons présenter quelques travaux sur ce domaine.

2. Approche de classifications numériques :

Dans cette partie, nous allons parler des différentes techniques de classification utilisées par les chercheurs pour la détection de la maladie du kératocône qui sont les Machines à Vecteurs de Supports (SVM), les réseaux de neurones, les arbres de décisions ainsi que d'autres approches.

2.1. Classification par support vecteur machine :

En Mai 2008, H.Bagherinia et al, ont utilisé le classificateur (SVM) pour distinguer les cornées normales d'autres conditions de la cornée à l'aide d'examen topographiques (tels que le kératocône suspect, kératocône, la dégénérescence marginale pellucide, myope et hypermétrope corrigé avec le laser). Le vecteur caractéristique se compose de 12 paramètres.

Les 3 premiers paramètres ont été utilisés dans le programme d'analyse cornéenne d'origine, tandis que les 9 autres paramètres sont dérivés de la courbure moyenne de carte.

Les données sont composées de 85 sujets normaux, et 239 sujets ayant d'autres conditions cornéennes, ont été utilisés pour former et évaluer la version actuelle de l'algorithme.

Le classificateur SVM a été formé en utilisant 80% de l'ensemble de données déterminé au hasard, et évaluée en utilisant les 20% restants. La version actuelle de l'algorithme a été

utilisée pour maximiser la séparation entre ces deux groupes dans ces 12 dimensions de l'espace caractéristique.

Les résultats de la vérification précoce basée sur l'ensemble des données de formation en utilisant la version actuelle de l'algorithme montrent que le classificateur SVM a été en mesure de distinguer les cornées normales des autres conditions de la cornée avec $\geq 90\%$ de sensibilité, la spécificité et la précision. Ce qui a permis de conclure que l'utilisation d'un classificateur SVM avec des paramètres dérivés de la carte moyenne de courbure peut devenir un outil utile pour distinguer les cornées normales des autres conditions de la cornée. [13]

Dans le même contexte, Hidalgo et al. Utilisent un algorithme de machine à vecteurs de support (SVM) qui traite 22 paramètres afin de différencier les patients atteints de kératocône de ceux qui sont en bonne santé. L'algorithme traite les paramètres de topographie cornéenne et les mesures de l'œil du patient.

L'environnement de développement utilisé dans l'étude est le logiciel open source Weka. Les résultats montrent une précision de 95,2 %, ce qui représente un haut niveau de performance. Selon les auteurs, l'algorithme le plus approprié pour la classification du kératocône est la technique SVM. D'après les résultats obtenus, la réduction des paramètres n'affecte pas les performances de l'algorithme de classification. Au contraire, il peut même améliorer la précision dans certains cas particuliers, réduisant considérablement le temps de traitement.

La meilleure précision a été obtenue lorsque seulement 7 paramètres ont été intégrés dans le modèle. [14]

2.2. Classification par réseaux de neurones :

Différentes techniques automatiques ont été proposées pour déterminer le kératocône à partir des cartes topographiques ; Parmi ces techniques, les réseaux neuronaux se sont révélés très utiles. Toutefois, l'identification des premiers signes de cette maladie oculaire reste un problème est de savoir si le dépistage doit être effectué sur les deux yeux du même sujet ou chaque œil séparément ; Jusqu'à présent, les réseaux de neurones ont été utilisés uniquement dans la seconde variante.

Afin d'examiner les différences entre les deux méthodes de dépistage en termes de capacité discriminative, en 2002, P. Agostino Accardo & Stefano Pensiero ont réalisé plusieurs combinaisons de réseaux de neurones multicouches en changeant le nombre de neurones de la couche d'entrée, nombre de couches cachées et le nombre de neurones dans les couches cachées. Les meilleurs résultats ont été obtenus en utilisant comme entrée les paramètres des

deux yeux du même sujet, et en sortie les trois catégories de classification clinique (normal, présence du kératocône, autres anomalies). Une sensibilité globale de 94,1%, ainsi qu'une spécificité globale de 97,6% ont été atteints. [15]

D'autre part, une analyse rétrospective a inclus 98 tests Orbscan II de 59 sujets et un réseau de neurones artificiels a été créé et formé sur la base du logiciel Java Neural Network 1.1. Soixante-treize tests (59 tests normaux et 14 examens du kératocône) ont été appliqués pour entraîner le réseau neuronal et 25 yeux ont été utilisés pour tester la méthode (19 yeux normaux et 6 cas de kératocône cornéen). La méthode de rétropropagation a été réalisée pour entraîner le réseau de neurones à une erreur de 5 % et un taux d'apprentissage de 0,2. Le réseau neuronal entraîné présentait une sensibilité et une spécificité de 83 et 100 % respectivement.

Enfin, Le réseau de neurones artificiels peut aider avec précision les cliniciens à classer le kératocône dans les tests Orbscan II. [16]

2.3. Classification par l'arbre de décision :

Le volume et la complexité des données produites lors des examens de vidéokératographie présentent un défi d'interprétation. En conséquence, les résultats sont souvent analysés qualitativement par reconnaissance de formes subjectives ou réduites à des comparaisons des indices de synthèse. Pour cela, Michael D. Twa et all, ont utilisé une méthode de classification par apprentissage automatisée pour décrire une application par l'induction d'arbre de décision, afin de discriminer les formes cornéennes normales et kératocône de manière objective et quantitative ensuite la comparé avec d'autres méthodes de classification connue.

La surface de la cornée a été modélisée avec le septième ordre polynôme de Zernike pour 132 yeux normaux de 92 sujets et 112 yeux de 71 sujets diagnostiqués avec kératocône.

La performance de classification a été comparée à l'indice de Rabinowitz-McDonnell, l'indice de Schwiegerling Z3 (Z3), l'Indice de Prédiction Kératocône (KPI), l'indice de KISA% et la localisation du cône et Indice de Magnitude en utilisant des seuils de classifications recommandées pour chaque méthode. Ils ont également évalué l'aire sous la courbe caractéristique de fonctionnement de la courbe (ROC) pour chaque méthode de classification. [17]

2.4. Autre approche :

L'existence d'une corrélation entre les vidéokératographie et les signes cliniques de kératocône qui pourraient être utiles à la pratique des cliniciens va être déterminé grâce à une étude longitudinale regroupe certaines méthodes.

Les yeux ont été regroupés par XiaohuiLi et al, en 2009 comme suit : kératocône, début kératocône, kératocône suspect ou normale sur la base des signes cliniques et vidéokératographie ont été examinés au départ et suivis pendant 1 à 8 ans.

Les différences dans les indices de vidéokératographie quantitatifs et le taux de progression ont été évalués.

Les indices quantitatifs utilisés dans cette étude sont : la kératométrie centrale (K), la valeur inférieure - supérieure (I-S) et l'indice de pourcentage de kératocône (KISA%). L'analyse discriminante a été utilisée pour estimer le taux de classification en utilisant les indices.

Au cours d'un suivi médian de 4 ans, environ 28 % dans le groupe de kératocône suspect a progressé au kératocône précoce ou kératocône et 75 % dans le groupe kératocône tôt progressé à kératocône. En utilisant tous les 3 indices et l'âge, 86,9 % dans le groupe normal, 75,3 % dans le groupe kératocône précoce, et 44,6 % dans le groupe de kératocône suspect pourrait être classé, ce qui donne un taux global de classification de 68,9%. [18]

Un système d'OCT (Tomographie par Cohérence Optique) dont le domaine de Fourier à résolution axiale 5 μm a été utilisé par Otman Sandali & al en 2013. Pour chaque patient, 3 scans à haute résolution ont été fait à travers le cône de kératocône. Tous les scans ont été analysés par des spécialistes du kératocône qui n'ont pas donnés l'accès aux données cliniques et topographiques des patients, et aussi ceux qu'ils ont établi un classement OCT.

La reproductibilité de la classification et de sa corrélation avec les caractéristiques cliniques et para cliniques des patients atteints de kératocône ont été évalués.

La classification OCT à domaine de Fourier contenant 5 étapes distinctes du kératocône

- Etape 1 montre l'amincissement dans l'apparence normale des couches épithéliales et stromales au niveau du cône.
- Étape 2 montre des anomalies hyper réfléchives survenant au niveau de la couche de Bowman avec un épaissement épithélial.
- Etape 3 montre le déplacement postérieur des structures hyper réfléchives se produisant au niveau de la couche de Bowman avec épaissement accru épithéliale et un amincissement stromal. Etape 4 montre pan-stromal cicatrice.
- Etape 5 démontre hydropisie, apparition brutale : la rupture et dilacération du collagène avec de grandes lamelles kystes intrastromales remplis de fluide membrane de

descemet. La reproductibilité de la classification a été très élevée entre les observateurs spécialisés de la cornée. [19]

Pour étudier la norme de l'échelle standard du kératocône (Pentacam- dérivés stades Amsler - Krumeich) par rapport aux indices d'irrégularité de la cornée et de la meilleure Acuité Visuelle à Distance de spectacle Corrigée (CDVA), un travail a été réalisé en 2013 par, Anastasios John Kanellopoulos et al, dont 12 cas de kératocône ont été évalués pour le classement du kératocône. Les indices d'irrégularités de la surface antérieure (mesurée par imagerie Pentacam), et la réfraction subjective (mesurée par CDVA (Corrected Distance Visual Acuity)), et la kératométrie ont été corrélés et analysés à l'aide d'un test bilatéral, ils ont obtenu environ 0.626 ± 0.244 de déviation standard CDVA (exprimé en décimal) pour tous les yeux, une kératométrie moyenne méridien plat (K1) de 46.7 ± 5.89 D ; une kératométrie forte moyenne (K2) de 51.05 ± 6.59 D. L'indice de la variance de surface et l'indice de la hauteur de décentration ont une forte corrélation avec le classement de la topographie cornéenne ($P < 0.001$). CDVA et la kératométrie ont une faible corrélation avec la sévérité du Kératocône. [20]

Dans le but d'évaluer l'élévation de la cornée, pachymétrie et kératométrie dans des yeux atteints par le kératocône en fonction du stade clinique de la maladie, Kamiya K et al, en 2014 ont pris un groupe de 126 yeux dont 83 patients ont le kératocône, 42 patients sont normaux.

A l'aide d'une camera Scheimpflug rotative (Pentacam HR, Oculus) l'élévation cornéenne, la pachymétrie et la kératométrie ont été mesurés dans ces yeux. (AUROC) la courbe a été utilisé pour analyser la signification diagnostic de ces paramètres, par rapport à chaque étape de classifications d'Amsler - Krumeich, et a été calculé pour décrire l'exactitude prédictive des différents indices et de déterminer les points de coupure où la sensibilité et la spécificité ont été maximisés.

Pour évaluer l'efficacité de l'épaisseur et le volume des paramètres cornéens mesurés avec le système Pentacam Scheimpflug dans les cornées kératocône infra cliniques discriminants et les cornées normales, Jing cui et al, en 2015 ont inclus 19 patients portant un kératocône infra clinique, 29 patients ont une myopie astigmatisme, dont les cornées été évaluées en utilisant un système Pentacam Scheimpflug (2002 model, Oculus, Berkshire, UK). Différents paramètres tel que l'épaisseur et le volume de la cornée ont été évalués, y compris l'épaisseur centrale de la cornée (CCT), l'épaisseur minimale de la cornée (MCT) épaisseur de la cornée déprimé (DCT), l'indice de progression maximale (MaxPI), l'indice de la progression moyenne (AvPI), l'indice de progression minimale (MinPI), et les valeurs du volume de la cornée pour les 3,0 mm (CV3), 5.0 mm (CV5) et 7,0 mm (CV7) cercles centraux. Une courbe ROC a été utilisé pour comparer entre la sensibilité et la spécificité des paramètres. L'étude aboutisse a trouvée des différences

significatives dans tous les paramètres ($p < 0,001$) à l'exception CV3 et CV5, entre kératocône infra clinique et cornées normales. La précision diagnostique pour tous les paramètres a été élevée, avec une surface sous la courbe (ASC) d'environ 1. Les valeurs seuils optimaux pour DCT, MinPI, AvPI et MaxPI ont été 5,5, 0,95, 1,05 et 1,45 pour le kératocône infra clinique respectivement [21].

Pour étudier l'efficacité du SCORE Analyzer dans la détection de la forme fruste du kératocône dans les yeux des asiatiques et valider son utilité comme un système d'évaluation des risques pour la chirurgie réfractive, Damien Gatinel et al, en 2015 ont pris le défi d'évaluer la topographie cornéenne d'Orbscan II par le SCORE analyseur sur 128 Orbscan de 128 asiatiques dont 24 cas forme fruste du kératocône, 104 cas suspect.

Les Principaux critères de jugement ont été les paramètres de précision : sensibilité, spécificité, les valeurs de prédiction positive et négative (PPV, NPV), ces paramètres ont été impliqués dans l'algorithme du SCORE et ont été comparés entre les deux groupes. Le SCORE a été négative dans 7 yeux (faux négative) et 2 dans le groupe à contrôler été positive (faux positive). Une sensibilité de 70.83%, une spécificité de 98.08%, une PPV 89.47% et une NPV 93.58% ont été obtenus. [22]

En 2020, Une étude comparative entre orbscan II et la Pentacam à différents stades du kératocône a été réalisée. 94 patients atteints de kératocône ont été inclus dans l'étude, dont 52 hommes et 42 femmes. Les patients atteints de kératocône ont été dépistés avec Orbscan II et Pentacam avant de subir une réticulation du collagène cornéen.

Les patients étaient répartis selon les différents stades du kératocône. 188 yeux ont été utilisés dans cette étude :

- 20 yeux avec un kératocône infra clinique.
- 44 yeux stade 1.
- 33 yeux stade 2.
- 67 yeux stade 3.
- 10 yeux (5,3%) au stade 4.
- 8 yeux avec kérato-ectasie obtenue après une chirurgie réfractive. [23]

la multitude des domaines d'application, et la grande diversité des solutions originales traitant le problème de maladie du kératocône. L'ensemble des publications et les différentes approches et méthodes

sont synthétisés dans le tableau 1.2

Auteurs	Articles	Approches	Expériences	Résultats
Smolek&Klyce 1997 [24]	Current Keratoconus Detection Methods Compared With a Neural Network Approach	Dans cet article les auteurs s'intéresse à la détection automatique du kératocône par une approche neuronale	Ils ont utilisés plusieurs combinaisons du nombre d'entrées, nœuds cachés et de sortie et des taux d'apprentissage qui ont été examinés.	<u>Les auteurs ont obtenu des résultats meilleurs avec des paramètres des deux yeux d'un même sujet.</u>
Accardo & Pensiero 2003 [25]	Neural network-Based system for early keratoconus detection from corneal topography	Ce travail traite l'identification de début Kératocône aussi les auteurs cherchent à savoir si un dépistage du kératocône doit être effectué en tenant compte des deux yeux du même sujet ou chaque œil séparément	Ils ont utilisés plusieurs combinaisons du nombre d'entrées, nœuds cachés et de sortie et des taux d'apprentissage qui ont été examinés.	Les auteurs ont obtenu des résultats meilleurs avec des paramètres des deux yeux d'un même sujet.
Luis Alberto Carvalho 2005	Preliminary Results of Neural Networks and Zernike Polynomials for	L'objectif de cet article est de développer un réseau d neurones artificiel qui pourraient	L'auteur a collecté une base de données à partir d'un système Eyesys 2000 de 80 cornées classées en cinq catégories : normales, l'astigmatisme à-la-règle, l'astigmatisme contre-la - règle, le	L'auteur indique qu'en utilisant un système de représentation de surface de la cornée simple est bien enrichi, qui s'appuie

	Classification of Video keratography Maps	classer les types spécifiques de formes de la cornée en utilisant des coefficients de Zernike comme entrée pour améliorer la précision de détection de Kératocône.	kératocône, et (5)post- kératomileusis assisté par laser in situ.	sur les informations de l'élévation de la cornée, on peut générer des paramètres d'entrée simples qui sont indépendants de la définition de courbure et qui sont également efficaces.
Mahmoud et al. 2005[26]	Repeatability of Corneal Topography Measurement in Keratoconus with the TMS-1	Le travail présente une Simulation des indices topographiques utilisées pour la détection et l'évaluation du kératocône pour permettre leur application à des cartes acquises à partir de plusieurs machines topographiques	La performance de ce travail par les indices simulés était significativement corrélée avec les indices natifs correspondants aux 3 appareils topographiques un Tomey TMS- 1, un EyeMapAlcon et Keratron topographe	Les auteurs sont venus à la déduction que tous les indices simulés étaient significativement corrélés avec les indices natifs correspondants
Zuzana Schlegel ,2007 [27]	Comparison and correlation between anterior and poste rior corneal elevation maps in normal eyes and	L'auteur s'intéresse à l'étude comparative entre la partie antérieure et postérieure des cartes d'élévation	La méthode utilisée est de calculer les Corrélations de l'élévation des paramètres entre les surfaces antérieure et postérieure.La technique des réseaux	Les résultats de la méthode ont permis de montrer que La corrélation calculée entre la toricité conique et la partie antérieure et postérieure de la surface de la cornée était meilleure dans les yeux de kératocône suspect

	keratoconus-suspect eyes	de la cornée entre le cas normal et le cas suspect.	de neurones a été appliquée	que dans les yeux normaux. Par contre l'asphéricité conique et la courbure apicale sont moins corrélées avec les yeux kératocône suspects que dans les yeux normaux
Sanctis et al .2008[28]	Sensitivity and Specificity of Posterior Corneal Elevation Measured by Pentacam in Discriminating Keratoconus/Su bclinical Keratoconus	La technique de régression logistique a été appliquée pour soutenir des Points de référence identifiés par l'analyse des courbes ROC, et pour vérifier la validité du modèle.	Les courbes (ROC) des caractéristiques ont été réalisées pour déterminer l'exactitude prédictive globale de l'essai et identifier les points de coupures optimales de l'élévation de la cornée postérieurs pour maximiser la sensibilité et la spécificité de la discrimination kératocône et kératocône infraclinique des cornées normales	La Courbe ROC a montré une grande précision globale prédictive de l'élévation postérieure à la fois pour le kératocône et le kératocône infraclinique (aire sous la courbe 0,99 et 0,93 respectivement). L'étude réalisée a clairement indiquée que l'élévation de la cornée postérieure permet une discrimination très efficace du kératocône par rapport aux cornées normales
BarretoSou zaet al. 2010 [29]	Evaluation of machine learning classifiers in keratoconus detection from	Afin d'identifier le kératocône à partir des cartes ORBSCAN II, ce trava il implémente les	Plusieurs paramètres ont été utilisés comme référence pour le dépistage. La validation croisée a été utilisé pour l'apprentissage et le test des classifieurs	L'ensemble des résultats de l'apprentissage sur les cartes de l'Orbscan II par les techniques : SVM, le RNS et RBF montrent clairement

	orbscanII examinations	approches :les séparateurs à vaste marge, les perceptrons multi-couche et réseau à base radial		une bonne détection du kératocône.
<u>Smadja .D,</u> <u>2013[30]</u>	Detection of Subclinical Keratoconus Using an Automated Decision Tree Classification	Le travail est basé sur la classification du kératocôneinfrac inique par la méthode des arbres de décision CART	Pour cette méthode l'auteur a introduit Cinquante-cinq paramètres de la cornée antérieure et postérieure.Il s'est basé pour l'évaluation des performances de l'algorithme sur les paramètres de la courbure l'élévation tachymétrie, et les paramètres de front d'onde.	Un nouveau test diagnostic a été établi, en utilisant la puissance des techniques d'analyse discriminante
Smadja .D, 2013[31]	<u>Detection of</u> <u>Subclinical</u> <u>Keratoconus</u> <u>Using an</u> <u>Automated</u> <u>Decision Tree</u> <u>Classification</u>	Le travail est basé sur la classification du kératocôneinfrac inique par la méthode des arbres de décision CART	Pour cette méthode l'auteur a introduit Cinquante-cinq paramètres de la cornée antérieure et postérieure.Il s'est basé pour l'évaluation des performances de l'algorithme sur les paramètres	Les résultats avec l'arbre de décision ont permis la discrimination entre le cas normal et le cas kératocône avec une sensibilité de 100%

			de la courbure l'élévation tachymétrie, et les paramètres de front d'onde	et une spécificité de 99,5%, ainsi qu'entre kératocône fruste et de normale avec un taux de sensibilité et de spécificité égal à 93,6 % et 97,2% respectivement.
--	--	--	---	---

3. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différentes approches de classification utilisées en traitement d'images médicales, notamment les machines à vecteurs de support, les réseaux de neurones les arbres de décision ainsi que d'autres méthodes ayant relation avec la recherche entamée ce qui est la détection automatique du kératocône.

Nous notons que la littérature scientifique est très riche en nombre de travaux qui proposent une aide aux médecins dans le domaine d'ophtalmologie suivi par la contribution à notre travail.

Dans le chapitre suivant, nous montrerons l'intérêt de notre base de données topographique récoltée localement ainsi que les différents paramètres qui la caractérisent.



Collection de la base et Application

1. Introduction :

Avec le développement que connaît le monde. La numérisation est devenue un mode de la vie plutôt qu'un moyen. Cela est évident dans tous les domaines ; en particulier le domaine médical.

Plusieurs techniques ont été appliquées dans l'imagerie médicale afin de faciliter le diagnostic ainsi de solliciter de multiples dilemmes. Aussi l'intelligence artificielle est un outil informatique très important pour créer un système permettant d'aider les médecins pour la prise de décisions.

Notre nouvelle base de données est composée de données numériques ainsi que des images de la topographie cornéenne. Notre BDD a été collectée à partir d'un topographe cornéen antéro-postérieure de marque Bausch&Lomb type Orbscan III dans un établissement hospitalier privé situé à la wilaya de Tlemcen « CLINIQUE LAZOUNI ».

Notre BDD numérique est composée de 847 patients, chacun d'entre eux est représenté par des descripteurs numériques « 16 descripteurs » ainsi que 04 différentes images qui sont : antérieure, postérieure, la carte de la kératométrie axiale et la carte de l'épaisseur cornéenne appelé la pachymétrie.

Dans ce chapitre nous allons aborder la présentation de la base de données collectée ainsi que les différents descripteurs qui la caractérisent. Nous allons discuter aussi des différents travaux réalisés récemment par les chercheurs pour la détection automatique du kératocône.

2. Définition d'une base de données :

Une base de données est un ensemble structuré de données enregistrées sur des supports accessibles par l'ordinateur, rassemblées et stockées d'une manière organisée dans un but spécifique tel que le suivi médical du patient (antécédents, traitements administrés, symptômes observés, etc.), ou l'analyse d'une population pour améliorer le traitement ou le diagnostic d'une maladie ou d'un protocole. [31]

Ces données peuvent être utilisées par des programmes ou des utilisateurs, afin d'en faciliter l'exploitation (ajout, mise à jour, recherche de données). C'est la pièce centrale d'un

ystème d'information qui régit la collecte, le stockage, le retraitement et l'utilisation de données dans la science du traitement automatisé de l'information.

3. Description de la base de données collectée :

Dans cette partie, nous allons détailler les démarches prises pour obtenir une base de données qui peut être utilisée par des experts afin de réaliser des études de recherches. Ces derniers ont pour but de faire une détection précoce de la maladie du kératocône afin de proposer la meilleure thérapie possible et stopper l'évolution du kératocône. Pour cela, dans la partie qui suit, nous allons présenter les différents paramètres qui caractérisent notre BDD. Ces descripteurs ont été proposés et validés par les médecins ophtalmologues.

3.1. Les descripteurs numériques de notre base de données :

Actuellement, plusieurs chercheurs essayent de proposer des systèmes intelligents capables d'aider les médecins dans leurs routines cliniques.

La classification et l'intelligence artificielle sont basées sur l'exploitation des connaissances médicales disponibles sur un ensemble de diagnostics pour arriver à une décision finale. Notre BDD a été collectée durant ce projet de fin d'étude au niveau de l'établissement hospitalier privé « clinique LAZOUNI ».

Les patients collectés de notre base de données ont réalisé une topographie cornéenne entre 2017 et 2021. Notre BDD se compose de 847 patients qui sont de régions différentes (ouest, centre, sud, et nord), sur lesquels nous avons exploité l'œil gauche et l'œil droit.

Cette investigation s'est faite sur 307 hommes, 540 Femmes dont 380 sujets sont atteints du kératocône, et 467 présentant des cas sains. La base de données est répartie comme représenté dans le tableau 2.1 ci-dessous. :

	Hommes	Femmes
NON Kératocône	182	285
Kératocône	125	255

Tableau2.1 : Répartition des patients dans la BDD

Les Figures 2.1 et 2.2 ci-dessous montrent que les hommes et les femmes peuvent être touchés par la maladie du kératocône.

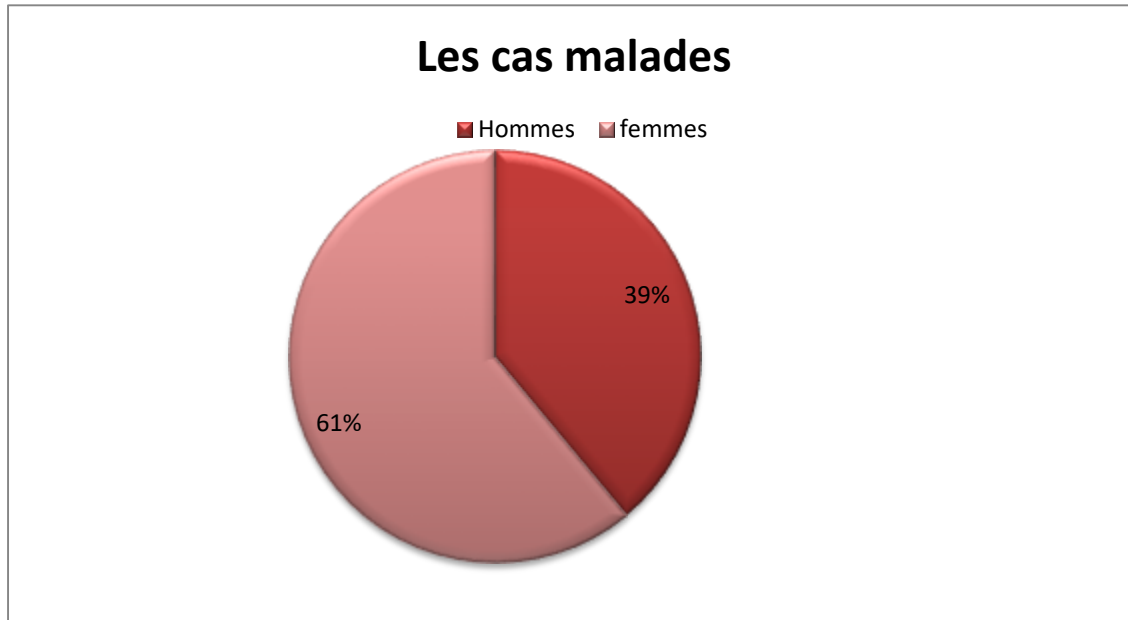


Figure2.1 : Les patients touchés par le kératocône selon le sexe de notre BDD

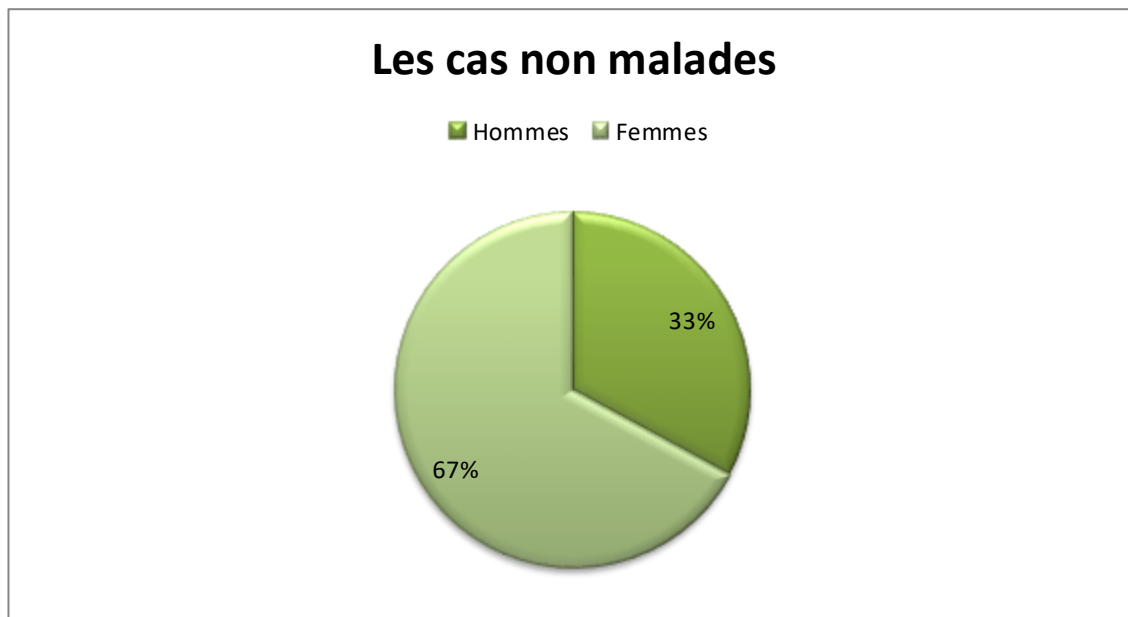


Figure2.2 : Les patients non malades selon le sexe de notre BDD

Selon l'analyse du tableau1 précédent ainsi que des deux figures (1 et 2), le nombre des hommes collecté dans notre BDD touchés par cette maladie est plus important que celui des femmes, ce qui confirme les statistiques de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) qui indique que le kératocône touche tous les groupes ethniques et les hommes plus que les femmes.

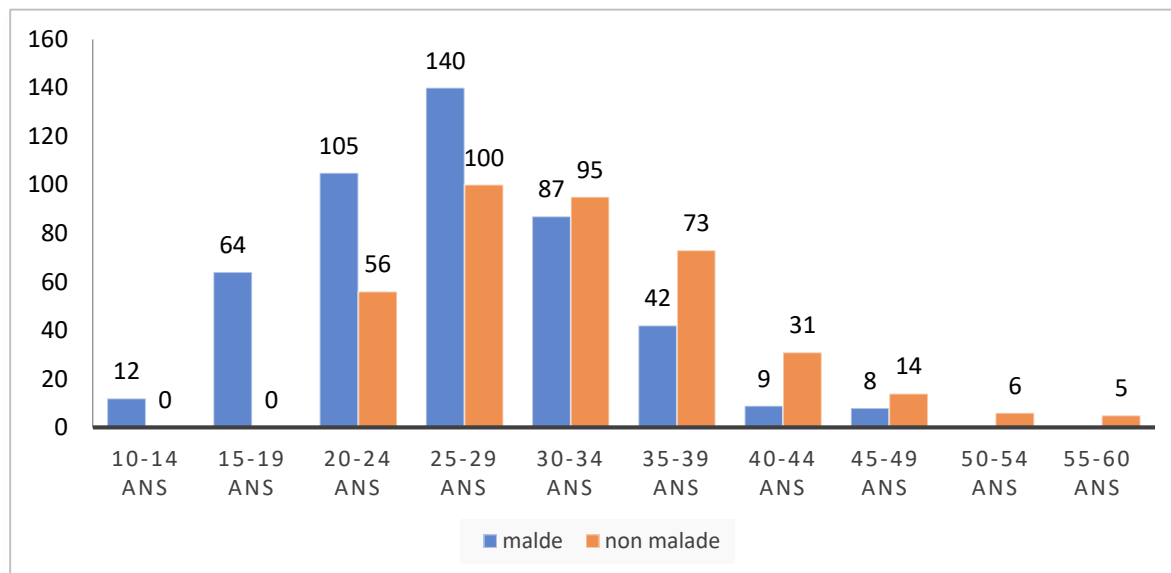


Figure2.3 : Répartition de notre base de données selon l'âge.

La Figure 2.3 précédente montre clairement que presque toutes les catégories d'âges ont été représentées dans notre BDD (enfants, adolescents et adultes).

Le kératocône peut être découvert vers l'âge de 15 ans, au moment où l'œil est en pleine croissance, ce qui fait que la cornée se déforme à ce moment-là et se stabilise vers les quarantaines.

Nous pouvons constater aussi que l'échelle des enfants est très faible par rapport aux adultes à cause de la difficulté de réalisation de l'examen topographique pour cette catégorie.

La Figure2.4 qui suit, montre le nombre de patients collectés dans notre BDD (malades et non malades) durant les 04 dernières années.

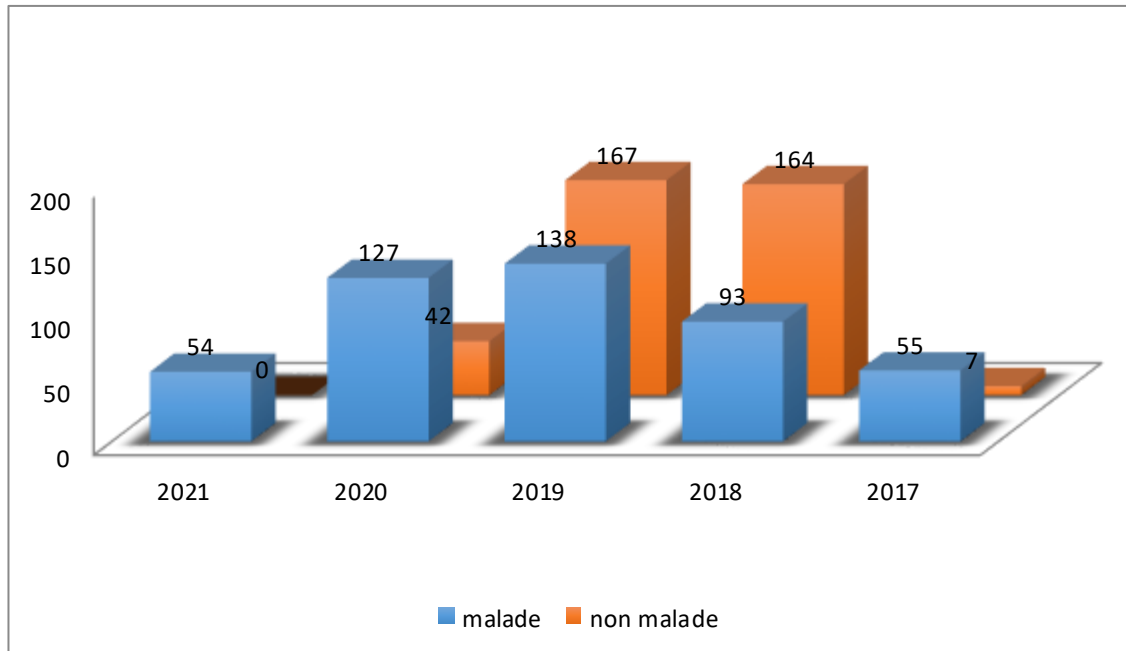


Figure2.4 : Patients collectés dans notre BDD durant les 04 dernières années.

La figure 2.5 ci-dessous montre que les patients collectés dans notre base de données sont de régions différentes (ouest, centre, sud, et nord).

La bonne répartition des données prouve une robustesse ainsi qu'une cohérence de notre BDD. Car en effet, nous pouvons trouver des maladies dans une région qui n'existe pas dans d'autres, comme par exemple le Trachome qui est l'une des maladies infectieuses les plus anciennement connues dans le monde. [32]

Notre BDD a été réalisée en collaboration avec plusieurs médecins ophtalmologues ainsi qu'un optométriste et cela pendant leurs consultations. Cette base contient actuellement les données de 847 patients.

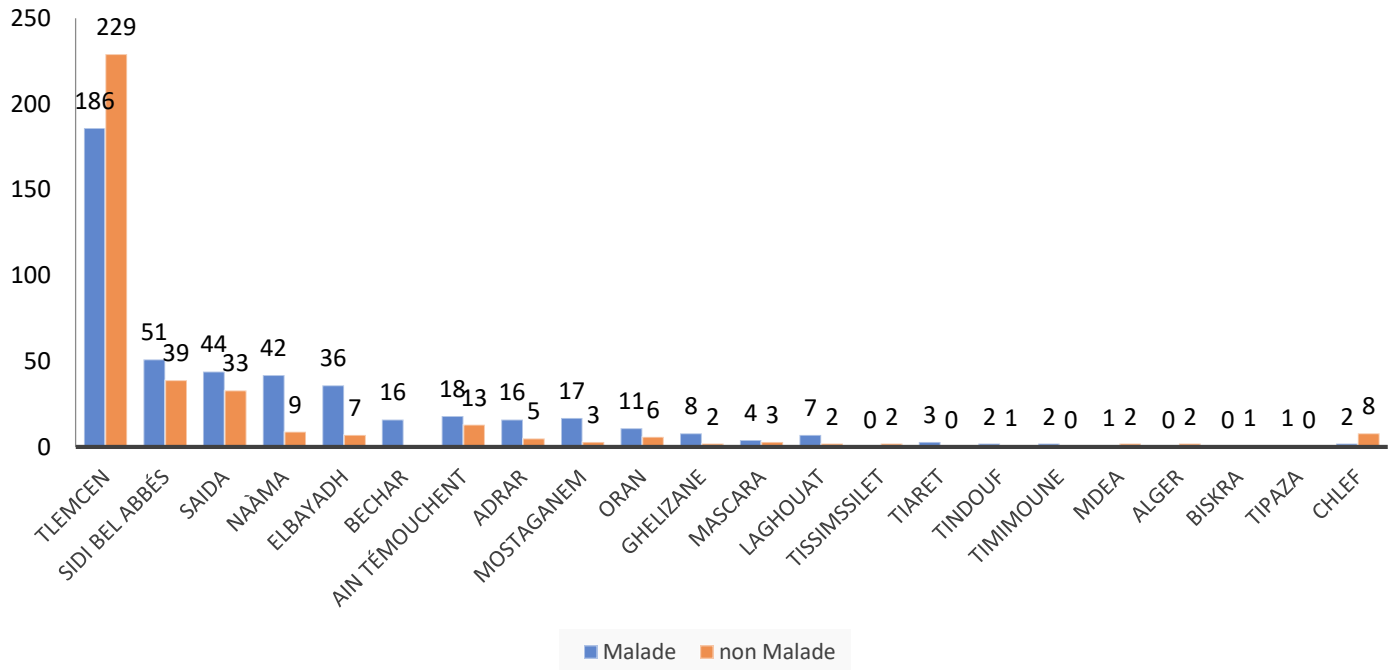


Figure2.5 : Répartition des données selon les wilayas.

Chaque patient étudié est caractérisé par 13 descripteurs, dont les 15 attributs sont des paramètres d'entrées et le 13^{ème} représente la classe du patient (kératocône - Non kératocône).

Rappelons qu'il existe 04 différents stades de la maladie du kératocône, pour cette raison, nous avons calculés automatiquement ce stade pour les patients malades.

Le tableau ci-dessous résume les différents descripteurs de notre base de données collectée ainsi que la classe.

Paramètres	Significations
ID	Identifiant du patient
Nom Prénom	Nom et le prénom du patient
Sexe	Femmes, Hommes
Date de naissance	La date de naissance de chaque patient pour connaître l'âge
Date de l'examen	Date d'où des examens sachant que le patient peut faire plusieurs

	examens pour connaître si la maladie est stable ou évolutive.
Kmax	La kératométrie maximale ; augmentation d'une dioptrie de la courbure maximale antérieure de la cornée (Kmax) ou perte d'une dioptrie d'astigmatisme.
Kmin	La kératométrie minimale ; diminution d'une dioptrie de la courbure minimale antérieure de la cornée (kmin).
Astigmatisme	Différence entre la kératométrie maximale et la kératométrie minimale
La pachymétrie	C'est la mesure de l'épaisseur de la cornée. Cette mesure peut être fournie par les pachymètres à US, les OCT, ainsi que les topographes cornéens à balayage par fente comme l'Orbscan II et III ou les topographes avec caméra Scheimpflug (Galilei, Pentacam, TMS 5). La topographie cornéenne permet de réaliser une cartographie complète de l'épaisseur cornéenne, dont la réalisation est déduite des données de l'élévation antérieure et postérieure de la cornée : il suffit pour cela de mesurer la distance entre les faces antérieure et postérieure de la cornée. La mesure étant effectuée en différents points, elle fournit un relevé pachymétrique complet du mur cornéen.
L'irrégularité (dioptries)	Représente l'irrégularité dans les régions de 3mm puis 5mm centraux de la face antérieure qui est proportionnelle à la déviation standard des valeurs prises par la courbure locale de la surface antérieure.
La valeur du point le plus fin	Correspond à la valeur de la pachymétrie la plus petite. Au déplacement du point le plus fin vis-à-vis du centre géométrique de la cornée.
Centrage du point le plus faible	Correspond à la valeur des coordonnées « x » et « y » (ordonnée, abscisse) de l'épaisseur cornéenne minimale. Si ce point est décentré par rapport au centre géométrique de la cornée ça peut être un signe de kératocône.
classe	Kératocone ; non kératocone

Tableau 2.2 : les descripteurs de notre base de données

Rappelons que la maladie du kératocône se développe suivant quatre stades :

- **Stade I** : Inconfort visuel, baisse d'acuité visuelle avec astigmatisme.
- **Stade II** : La myopie s'associe à l'astigmatisme.
- **Stade III** : Aggravation des troubles visuels et apparition d'une déformation (Protubérance) bien visible de la cornée.
- **Stade IV** : Amincissement associé à une perte de transparence (cicatrices ou opacités au sommet du cône) et risque de kératocône aigu.

Pour calculer les stades nous avons utilisé la méthode utilisée est beaucoup plus précise en utilisant les paramètres suivants :

- **Stade I** : Astig ≤ 5 ET Dioptries Puissance cornéenne ≤ 48 OU Dioptries pachymétrie $> 400\mu\text{m}$.
- **Stade II**: Astig > 5 ET ≤ 8 ET Puissance cornéenne ≤ 53 OU Dioptries pachymétrie $> 400\mu\text{m}$.
- **Stade III** : Astig > 5 ET ≤ 10 OU Puissance cornéenne > 53 ET Dioptries pachymétrie $> 200\mu\text{m}$. OU Astig > 8 ET ≤ 10 ET Puissance cornéenne > 53 OU Dioptries pachymétrie entre 400 et 200 μm .
- **Stade IV** : Astig > 10 ET $k_{\text{max}} > 53$ OU Dioptries pachymétrie $> 200\mu\text{m}$. OU Astig > 5 OU $k_{\text{max}} > 53$ ET Dioptries pachymétrie $> 200\mu\text{m}$.

La figure 2.6 suivante montre le nombre de patients présentant la maladie du kératocône avec le stade ainsi que les vrais négatifs. On remarque bien que la méthode choisie est la plus correcte car le nombre de VN n'est pas significatif.

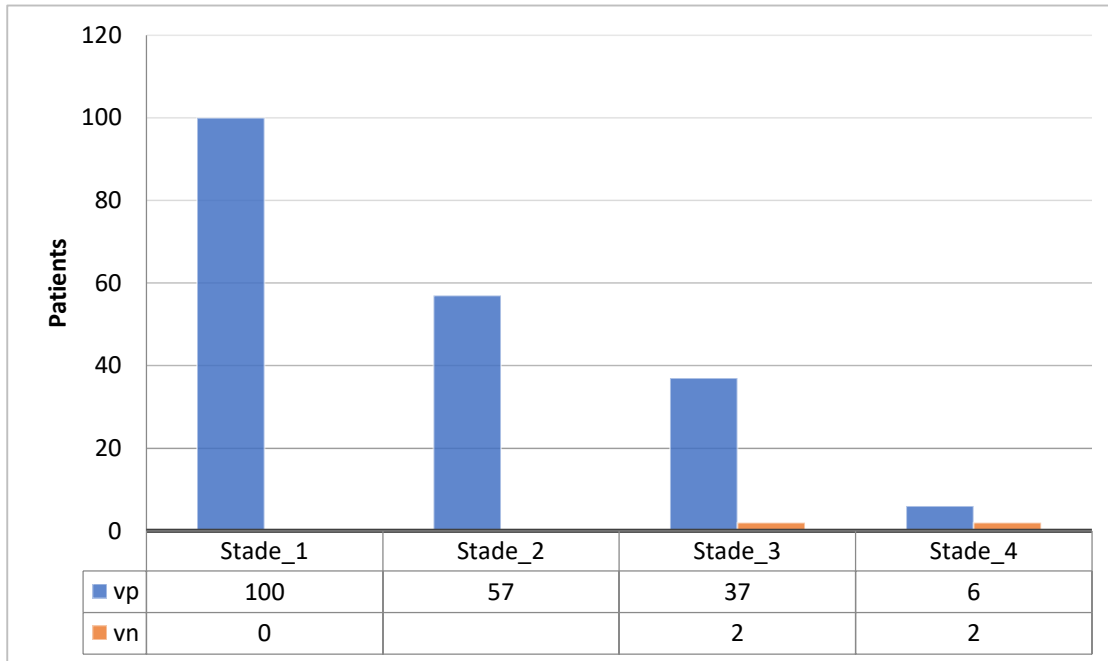


Figure 2.6 : le VP et le VN.

Les patients non malades de notre BDD doivent être classés comme classe 0 (Stade 0) or notre méthode de calcul l'a classé comme stade 1 (kératocône infra clinique). Cette erreur se justifie par la ressemblance totale du stade 0 et du stade 1 d'un côté ainsi que l'utilisation des images et des paramètres numériques en même temps par les experts pour l'interprétation d'une carte topographique.

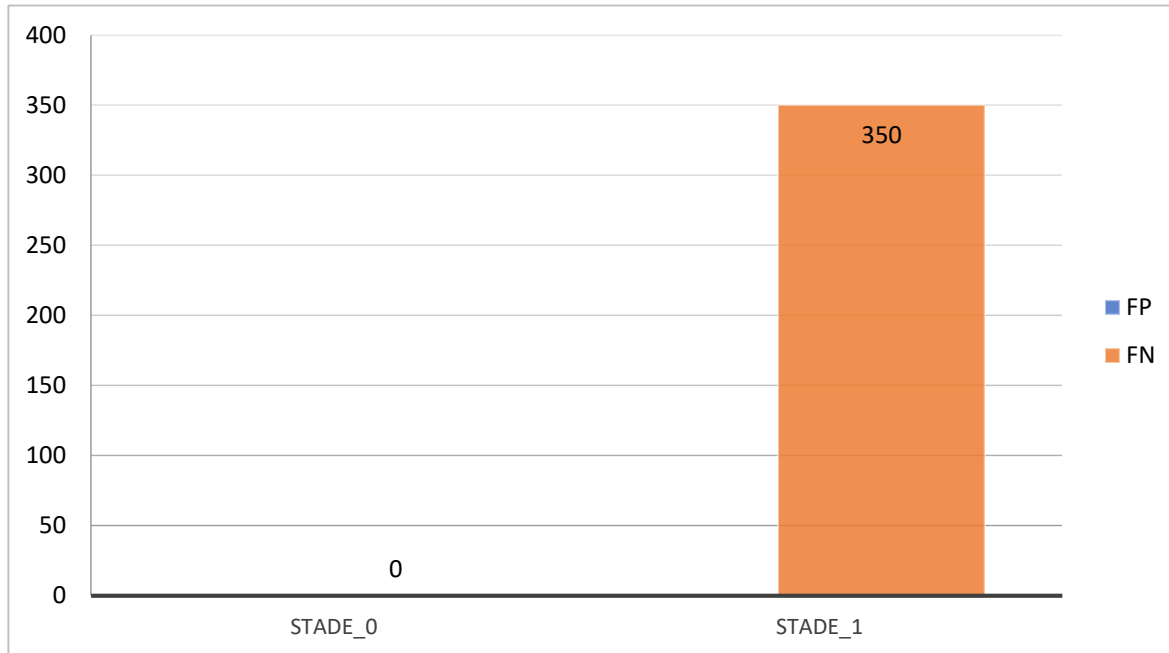


Figure 2.7 : les FN et FP.

3.2. Les images des patients de notre base de données :

L'imagerie est un outil indispensable à la médecine moderne notamment pour le dépistage et le traitement de plusieurs pathologies graves, notre étude le recours à diverses techniques d'imagerie plus sophistiquées permet cependant d'évoquer le diagnostic du kératocône dès les stades précoces de l'affection, et d'en quantifier le stade évolutif. Car pour faire un bon diagnostic précoce le médecin ophtalmologue utilise les paramètres numériques obtenus par la topographie cornéenne ainsi que les images.

La collecte des images topographique faite dans notre étude été très difficile à cause de la sécurisation faite par le fabricant Bausch & Lomb du topographe « Orbscan III ». Ce dernier ne nous permet pas d'accéder directement aux images originales. Afin de résoudre ce problème, nous étions dans l'obligation de réaliser des captures d'écran dans le but de pouvoir faire des traitements d'images.

Comme la montre la figure ci-dessous, chaque patient est caractérisé par 04 différentes images. La figure gauche représente les images d'un patient sain et la figure qui se trouve à droite représente les images d'un patient malade.

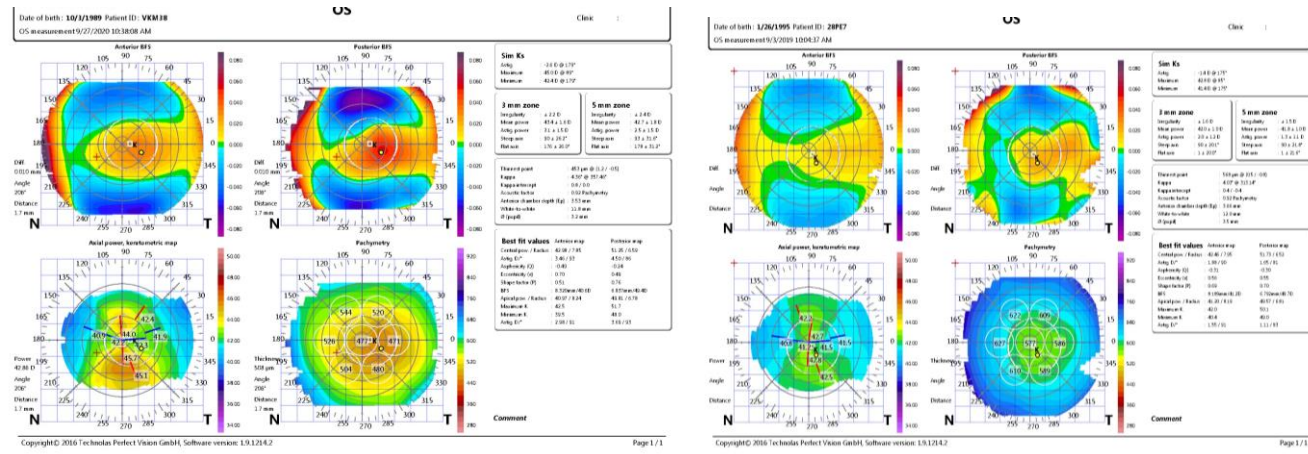


Figure 2.8 : Carte topographique d'un cas sain et d'un patient malade.

À partir de la figure précédente, on remarque qu'il existe 4 blocs différents ce qu'on appelle « Quadmap » :

- ✓ 1 : Représente la coupe antérieure de la topographie cornéenne.
- ✓ 2 : Représente la coupe postérieure de la topographie cornéenne.
- ✓ 3 : Représente la carte de la kératométrie axiale.
- ✓ 4 : Représente la carte de l'épaisseur cornéenne « pachymétrie ».

OD : signifie étude de l'œil droit et OG : signifie étude de l'œil gauche

À partir des cartes de la topographie cornéenne, nous avons recueilli des informations relatives à la courbure de la cornée, grâce à la projection et l'analyse du reflet d'un motif lumineux éclairant ou balayant la cornée. Les images obtenues sont analysées de façon automatique par un logiciel, et des cartes en couleurs sont fournies au médecin pour l'interprétation du diagnostic et prendre la décision.

À travers l'affichage classique « Quadmap » du topographe, nous sommes passé à l'affichage « max » de chacun et effectuer des captures d'écran selon les parties dont nous avons besoin pour faire nos traitements, puis découper chaque image tout en considérant qu'elles aient la même taille comme suivant (figure 2.7).

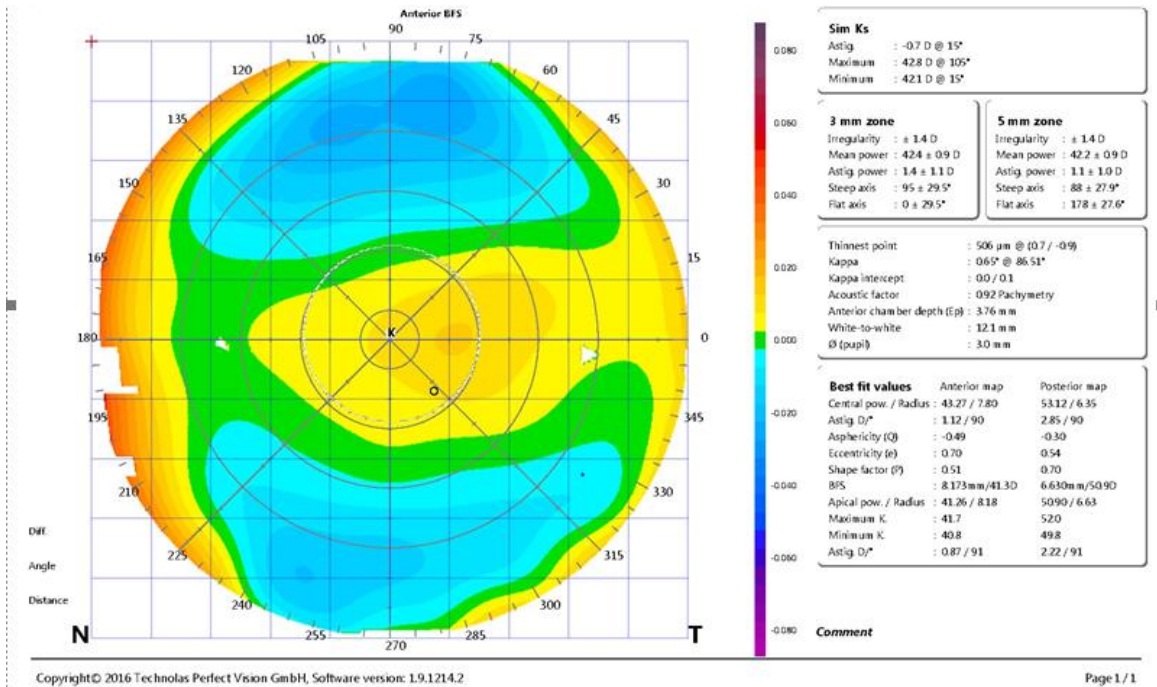


Figure 2.9 : Affichage Max.

Le bloc « 1 » et « 2 » ont servis pour la détection des nombres de couleurs dans les zones optiques 3 mm, 5 mm et 7 mm ainsi que la détection du point le plus fin.

Le bloc « 3 » a été utilisé pour la détection des axes dans le but de vérifier la symétrie.

Le bloc « 4 » permet de faire l’affichage de la pachymétrie, cette valeur a été utilisée comme un paramètre numérique dans notre BDD.

Dans les coupes antérieures et postérieures, les images sont représentées par des couleurs significatives (Figure 2.8) :

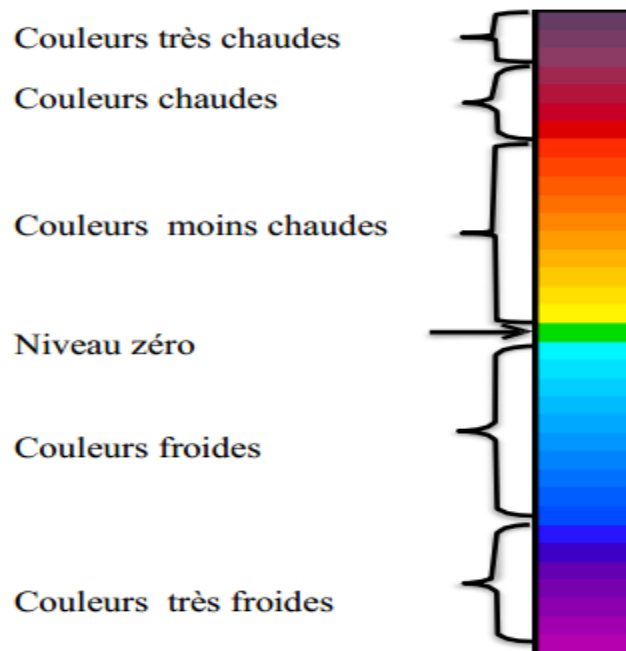


Figure2.10 : Echelle de couleurs.

- Les couleurs chaudes (jaune, orange, rouge, violet) représentent ce qui est bombé (définis les cas Kératocône).
- Les couleurs froides (bleu ciel jusqu'au vert) ; représentent ce qui est plat.
- Le vert est utilisé pour définir les valeurs moyennes.

Tous ces paramètres sont utilisés par les médecins d'ophtalmologie, d'une manière visuelle dans le dépistage et le suivi de certaines affections de la cornée (kératocône, astigmatisme) pour la chirurgie réfractive, ce qui nous a poussés à développer un outil informatique pour une bonne détection et un bon suivi de cette maladie.

4. Définition d'un site web :

Un site web est l'ensemble des pages web et des ressources inter reliées entre elles par des liens hypertextes, auxquelles l'utilisateur peut accéder par une adresse web appelée URL, le tout enregistré sous le même nom de domaine ; ensuite il englobe des textes et multimédia. Il est hébergé sur un serveur web, auquel on peut accéder à travers le réseau internet ou intranet.

Une page web peut être définie comme étant l'ensemble des documents html structurés, stockés sur un serveur connecté au réseau mondial qu'est internet [33].

5. Les différents types des sites web :

On distingue deux types de site web statiques et dynamiques :

- **Sites statiques :** Ces sites ont le mécanisme de fonctionnement le plus simple : les URL correspondent à un fichier renvoyé par le serveur web. Le contenu des pages d'un site statique ne dépend donc pas de variables telles que la date ou de bases de données ; Pour les réaliser, seuls les langages dits d'interface utilisateur (frontend) sont nécessaires, c'est-à-dire HTML, CSS et JavaScript (en théorie, il est toutefois possible d'utiliser uniquement le HTML).
- **Sites dynamiques :** Ces sites offrent un contenu qui peut évoluer dans le temps. Des programmes tournent du côté des serveurs, à l'arrière-plan, (backend) pour générer les pages du site. Ces programmes peuvent se servir de bases de données ou autres sources de données pour composer les pages qui seront affichées dans le navigateur ; Pour les réaliser, on a également besoin de HTML, de CSS et de JavaScript, mais les programmes qui tournent du côté serveur utilisent d'autres langages qui peuvent créer dynamiquement les pages telles que PHP, JAVA.... [34]. Dans le cas de notre site.

6. Les étapes de la conduite d'un site web :

Les différentes étapes de la conduite d'un projet web peuvent être résumées ainsi :

- Lancement : Etude des besoins, de la concurrence et de l'existant pour l'établissement d'un cahier des charges.
- Conception : Elaboration de la structure (arborescence), du contenu des pages web et en particulier de la page d'accueil et éventuellement un moteur de recherche, du graphisme, qui font partie du cahier des charges fonctionnel.
- Réalisation : Voir ci-dessous.
- Production : Le site est mis en ligne, devient accessible au public ciblé.

- Exploitation : Phase de maintenance et de promotion du site, avec notamment le référencement naturel (Netlinking) ou payant (Google Adwords, Microsoft Adcenter, ou autres). [35]

L'étape de réalisation comprend :

- ✓ La réservation et gestion d'un nom de domaine (l'adresse web à laquelle le site est accessible).
- ✓ La mise en œuvre d'une infrastructure d'hébergement du site (serveurs web, base de données...).
- ✓ Le développement de l'interface utilisateur (frontend), la partie visible dans le navigateur ;
- ✓ Les différentes pages sont décrites en langages connus des navigateurs web, principalement HTML, CSS et JavaScript. Les éléments graphiques (et éventuellement des publicités servant à rémunérer le site) sont intégrés dans ces pages.
- ✓ Le développement de l'arrière-plan (backend), la partie qui fonctionne côté serveur.

7. La mise en pratique :

7.1. Analyse des besoins et conception :

Comme n'importe quel type de projet, un projet informatique nécessite une phase d'analyse, suivi d'une étape de conception.

Dans **la phase d'analyse**, on cherche d'abord à bien comprendre et à décrire de façon précise les besoins des utilisateurs ou des clients (dans notre cas on parle du médecin). Que souhaitent-ils faire avec le site ? Quelles fonctionnalités veulent-ils ? Pour quel usage ? Comment l'action devrait-elle fonctionner ? C'est ce qu'on appelle « **l'analyse des besoins** ».

Après validation de notre compréhension du besoin, nous imaginons et proposons la solution. Cette partie est appelée **analyse de la solution**.

Dans **la phase de conception**, on apporte plus de détails à la solution et on cherche à clarifier des aspects techniques, tels que l'installation des différentes parties logicielles à installer sur du matériel.

8. Conception du système :

8.1. Présentation de MCD et MLD :

8.1.1 Modèle Conceptuelle de donnée (MCD) :

Le MCD est une représentation graphique de haut niveau qui permet facilement et simplement de comprendre comment les différents éléments sont liés entre eux à l'aide de diagrammes codifiés dont les éléments suivants font partie :

- Les entités (1 rectangle = 1 objet).
- Les propriétés (la liste des données de l'entité).
- Les relations qui expliquent et précisent comment les entités sont reliées entre elles (les ovales avec leurs « pattes » qui se rattachent aux entités).
- Les cardinalités (les petits chiffres au-dessus des « pattes »). [36]

Voir la figure (2.9).

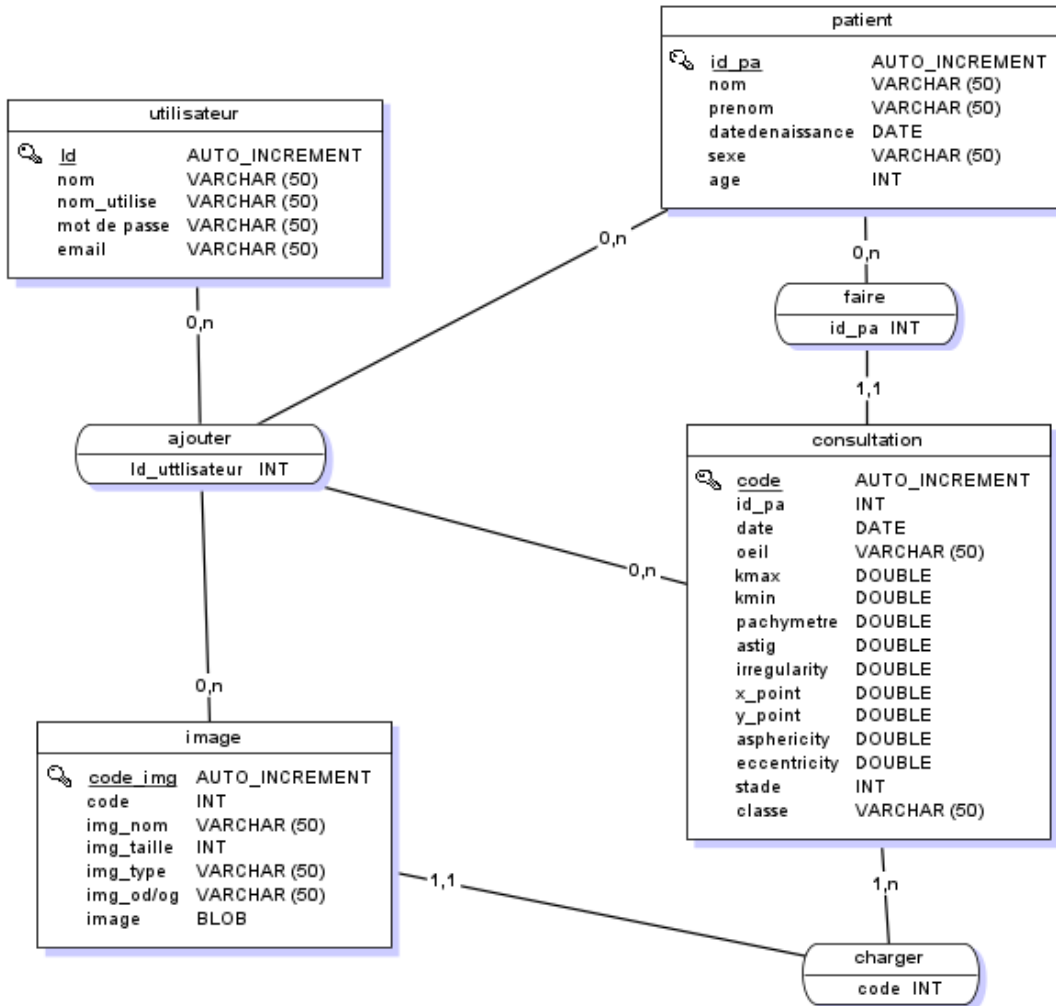


Figure 2.11 : le MCD de notre base de données.

8.1.2. Modèle Logique de donnée (MLD) :

Le modèle logique des données consiste à décrire la structure de données utilisée sans faire référence à un langage de programmation. Il s'agit donc de préciser le type de données utilisées lors des traitements. [37], Permet de modéliser la structure selon laquelle les données seront stockées dans la future base de données. [38]

La figure suivante présente le MLD de notre base de données :

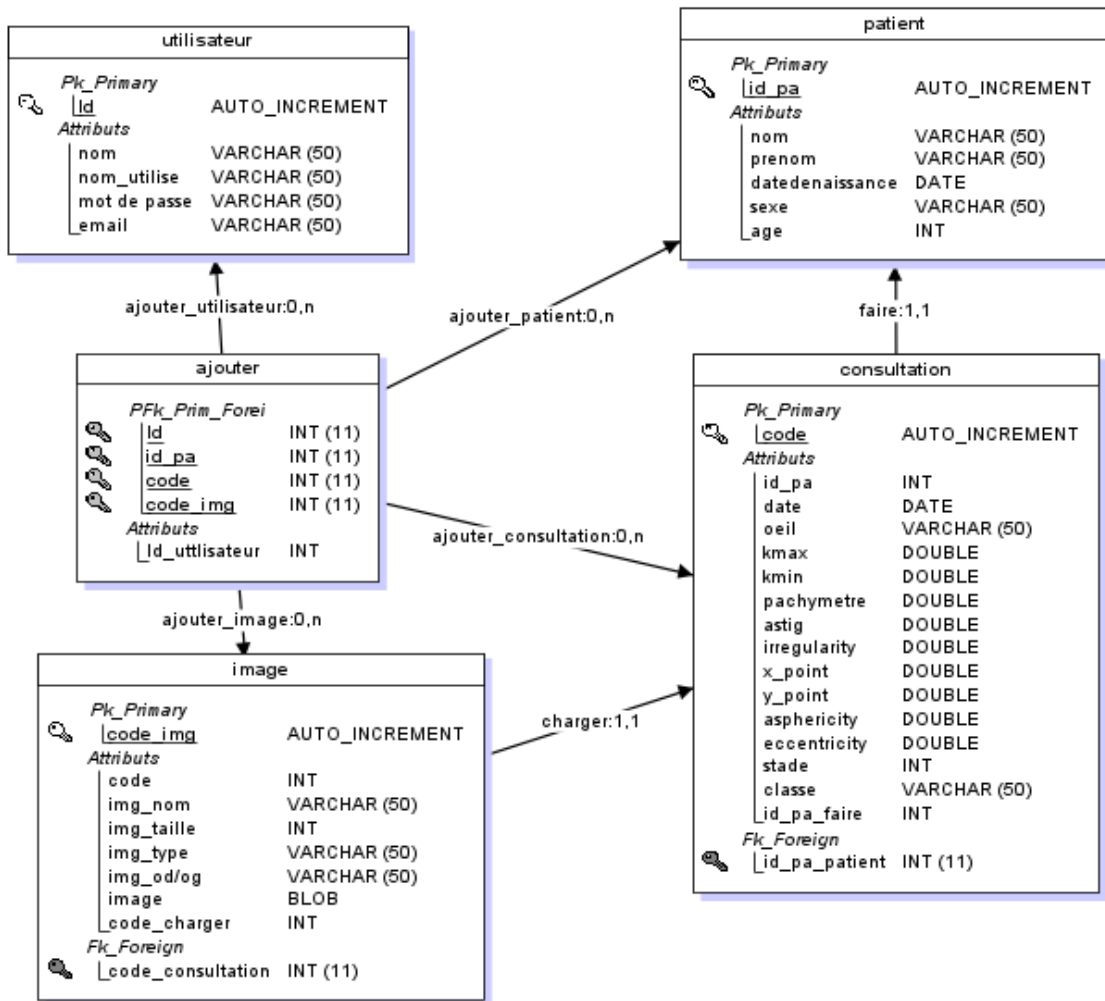


Figure2.12 : le MLD.

9. Présentation de langage UML :

9.1. Définition d'UML :

UML, c'est l'acronyme anglais pour « Unified Modeling Language ». On le traduit par « Langage de modélisation unifié ». C'est un langage visuel constitué d'un ensemble de schémas, appelés des diagrammes, qui donnent chacun une vision différente du projet à traiter.

UML nous fournit donc des diagrammes pour représenter le logiciel à développer : son fonctionnement, sa mise en route, les actions susceptibles d'être effectuées par le logiciel, etc.

[39]

9.2. Les différents types de diagrammes :

La réalisation d'une application informatique ou un site web repose sur plusieurs diagrammes. Le langage UML est composé de diagrammes. Il existe deux familles des diagrammes qui sont : **diagrammes UML structurels et comportementaux.**

L'UML utilise des éléments et les associes de différentes manières pour former des diagrammes qui représentent les aspects statiques ou structurels d'un système, ainsi que des diagrammes comportementaux qui capturent les aspects dynamiques d'un système. [40]

i. Diagrammes UML structurels

- Diagramme de classes.
- Diagramme de composants.
- Diagramme de structure composite.
- Diagramme de déploiement.
- Diagramme d'objets.
- Diagramme de paquetages.

ii. Diagrammes UML comportementaux

- Diagrammes d'activités.
- Diagramme de communication.
- Diagramme global d'interaction.
- Diagramme états-transitions.
- Diagramme de temps.
- Diagramme de cas d'utilisation.

9.3. Diagramme UML :

9.3.1. Diagramme de cas utilisation :

En langage de modélisation unifié (UML), un diagramme de cas d'utilisation peut servir à résumer les informations des utilisateurs telle que nom, prénom, âge, adresse (également appelés acteurs) et leurs interactions avec ce dernier. La création de ce type de diagramme requiert un ensemble de symboles et de connecteurs spécifiques. Lorsqu'ils sont bien conçus, les diagrammes de cas d'utilisation peuvent aider votre équipe à collaborer et représenter :

Les scénarios dans lesquels votre système ou application interagit avec des personnes, des organisations ou des systèmes externes ;

Les objectifs dans notre cas, l'ajoute d'un patient, l'ajoute d'une visite, modifier ou supprimer patient, consulter patient e. [41]

Le tableau suivant montre les éléments de modèle dans les diagrammes de cas d'utilisation de notre site :

Acteur	Cas d'utilisation	Désignation
Utilisateur (Médicéen)	Créer un compte	Interface d'inscription, le médecin doit s'authentifier par le saisi de son Email et son mot de passe.
	Ajouter patient.	L'interface ajouter un patient, le remplir leur information.
	Ajouter visite	Le médecin ajouter une image ou valeurs numérique.
	Modifier patient	Le médecin modifier les informations du patient.
	Rechercher un patient	Le médecin chercher un patient
	Afficher information du patient	L'interface des informations du patient.

	Sauvegarder patient dans un serveur	Le patient enregistrer le document médical, le système automatiquement sauvegarder dans le serveur.
	Sauvegarder visite	Le médecin enregistrer les données du patient, le système automatiquement sauvegarder dans un serveur.

Tableau 2.3 : listes des cas d'utilisation.

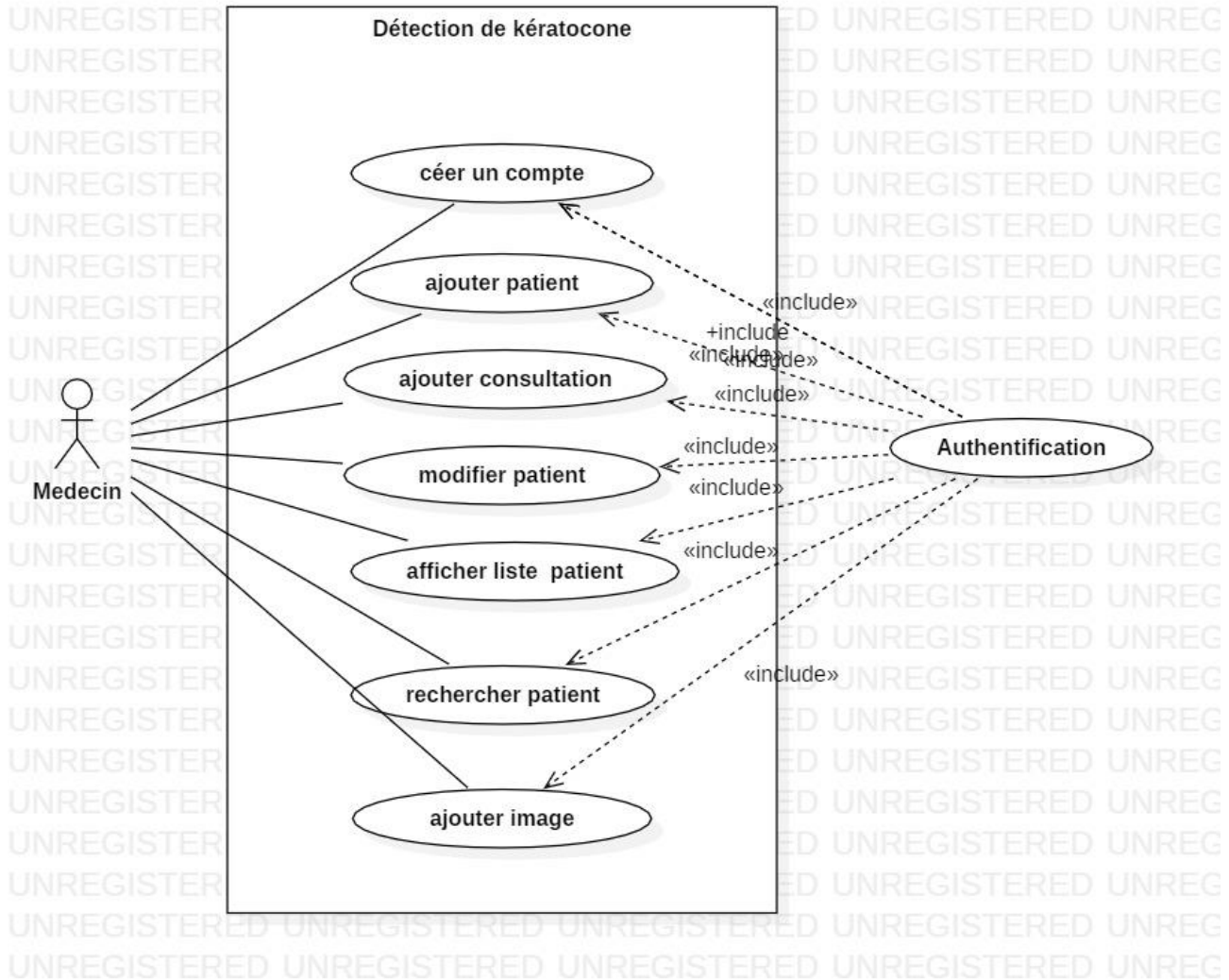


Figure 2.13 : diagramme de cas d'utilisation associé au patient.

9.3.2. Diagrammes de séquence :

Un diagramme de séquence est un type de diagramme d'interaction, car il décrit comment et dans quel ordre plusieurs objets fonctionnent ensemble. Est utilisé à la fois par les développeurs logiciels et les managers d'entreprises pour analyser les besoins d'un nouveau système. [42]

Le but des diagrammes de séquence est de représenter les interactions entre les objets en indiquant l'historique des échanges considérant les différents scénarios associés.

La partie suivante sera consacré pour présenter quelques diagrammes de séquences les plus significatifs.

➤ **Diagramme de séquence du cas d'utilisation « Authentification »**

Le premier scénario pour Authentification de patient dans le système. La chronologique de ce scénario est représentée comme suivante :

L'authentification consiste à assurer la confidentialité des données, elle se base sur la vérification des informations associées à un utilisateur par son email et mot de passe. Ces informations sont préétablies dans une base de données. Lors d'une authentification deux cas se présentent :

- Les informations introduites par l'utilisateur sont incomplètes, dans ce cas un message d'erreur s'affiche ou les informations saisies sont complètes et le système procède à leur vérification.
- Après la vérification des informations saisies par l'utilisateur soit par l'affichage d'un message d'erreur, ou de l'interface correspondante. Si le médecin est débutant dans le système, il envoie une demande d'ajout d'un patient Le système lui répond par l'affichage d'un formulaire qui sera validé après remplissage.

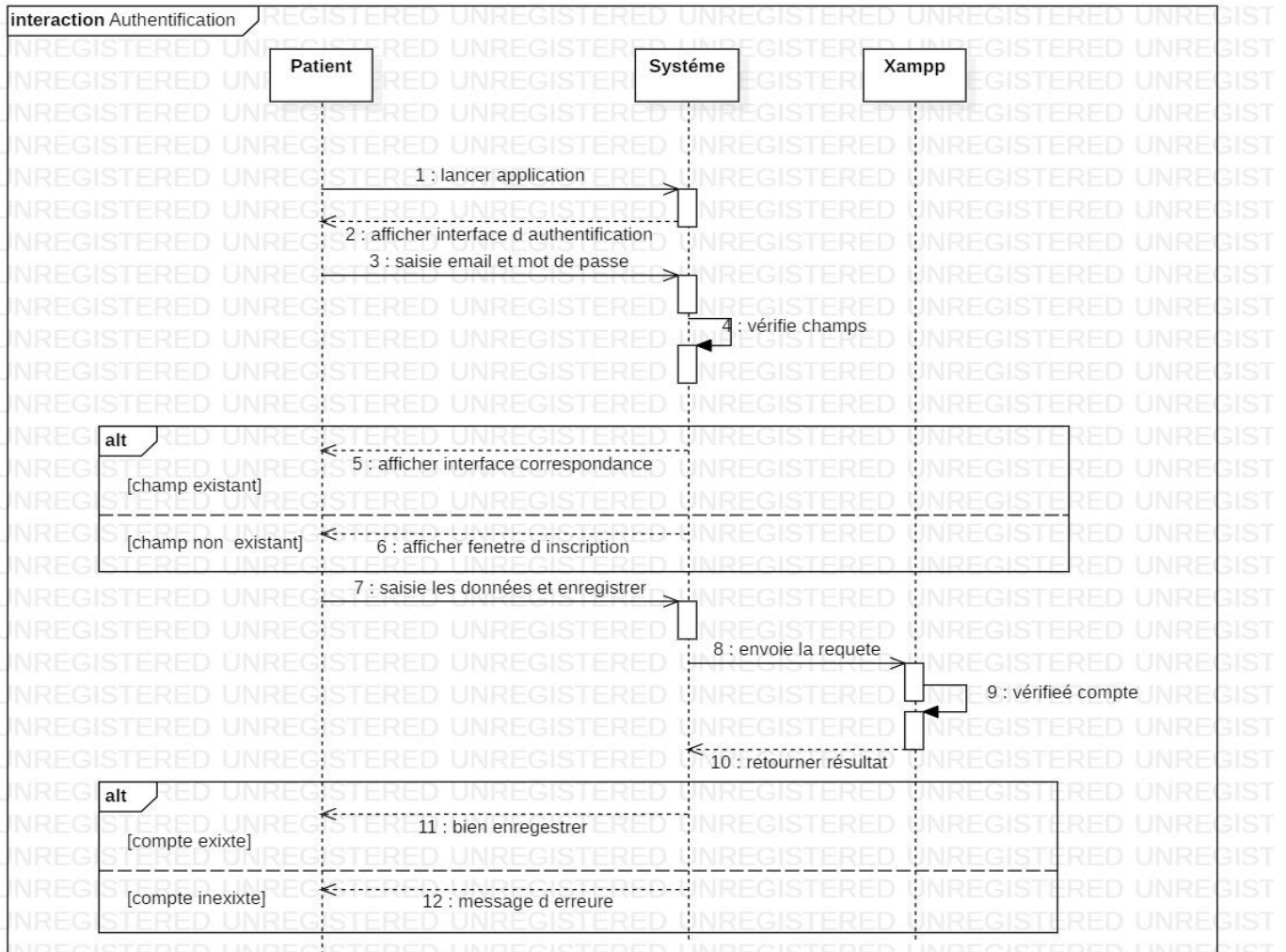


Figure 2.14 : Diagramme de Séquence authentification.

➤ **Diagramme de séquence du cas d'utilisation « Ajouter un patient » :**

Le scénario d'ajout d'un patient se fait selon la chronologie représentée comme suivant :

Lorsque le médecin veut ajouter un patient, il envoie une demande d'ajout au système. Ce dernier va répondre au système en affichant l'interface d'ajout qui sera validée après son remplissage. Un message de confirmation doit afficher après la validation.

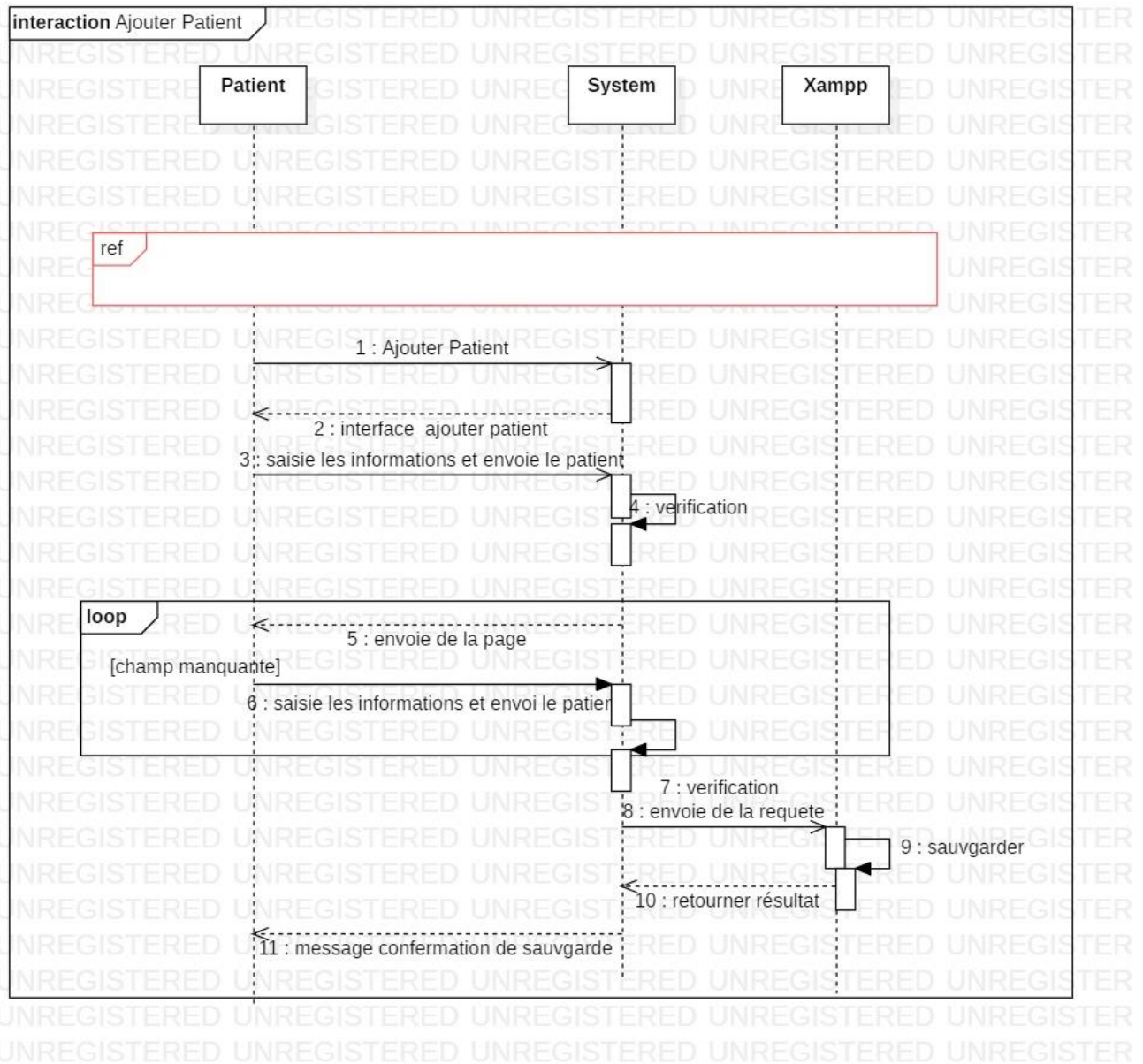


Figure 2.15 : Diagramme de séquence Ajouter un patient.

➤ **Diagramme de séquence du cas d'utilisation « Modifier du patient » :**

La chronologie du scénario relatif à la modification d'un patient est représentée par la figure suivante :

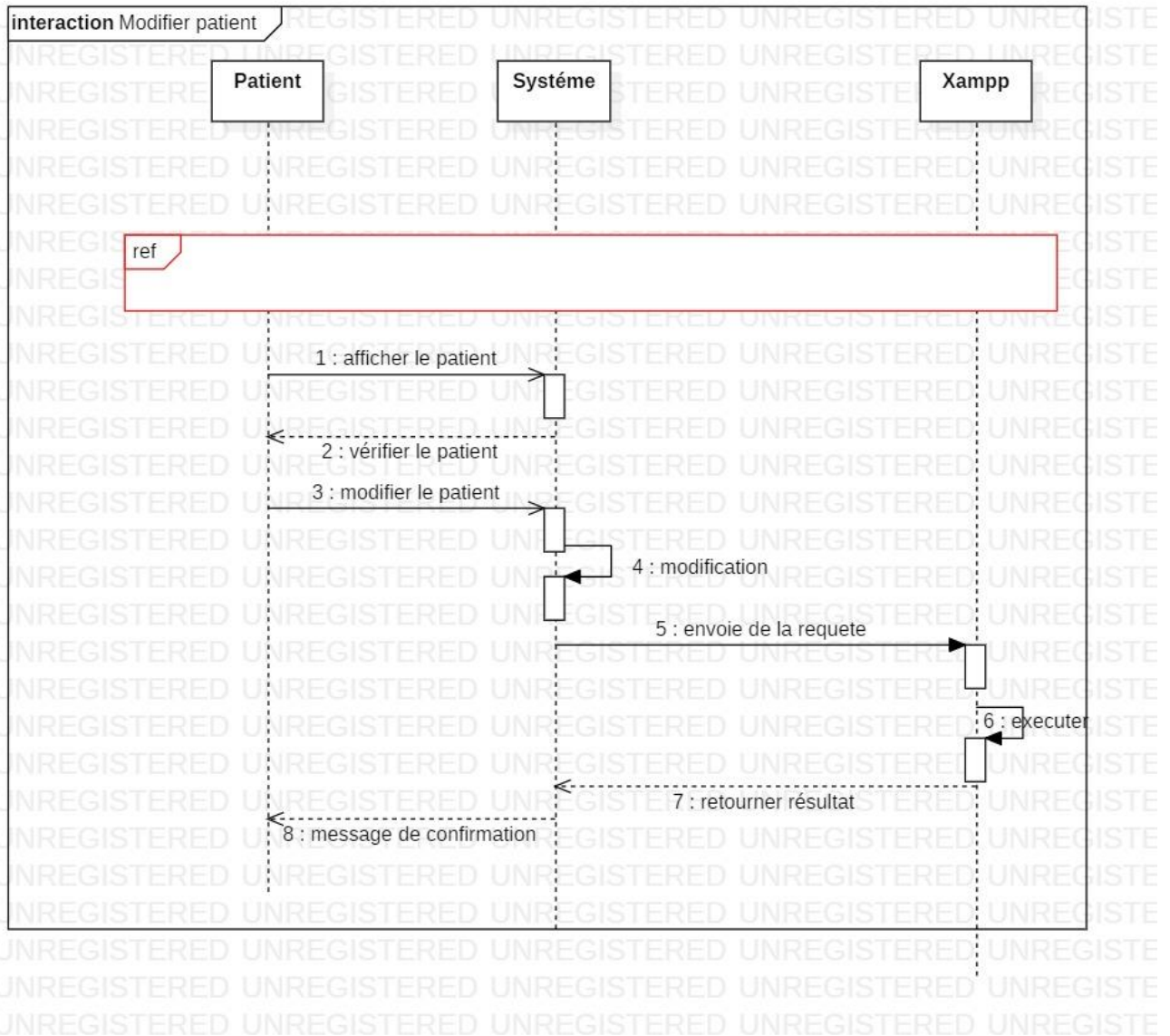


Figure 2.16 : Diagramme de séquence modifier un patient.

➤ **Diagramme de séquence du cas d'utilisation « Rechercher un patient » :**

Le scénario de recherche d'un patient se fait selon la chronologie représentée comme suivante :

Lorsque le médecin veut faire une recherche d'un patient archivé, il envoie une demande de recherche au système. Ce dernier va répondre au système en affichant l'interface de recherche, une fois l'interface est disponible il doit entrer l'identifiant, nom, prénom du patient qui veut chercher, le système doit effectuer la recherche si l'identifiant est correct

le système doit afficher le document correspondant sinon doit afficher un message d’erreur (si identifiant n’existe pas dans la liste de l’archive).

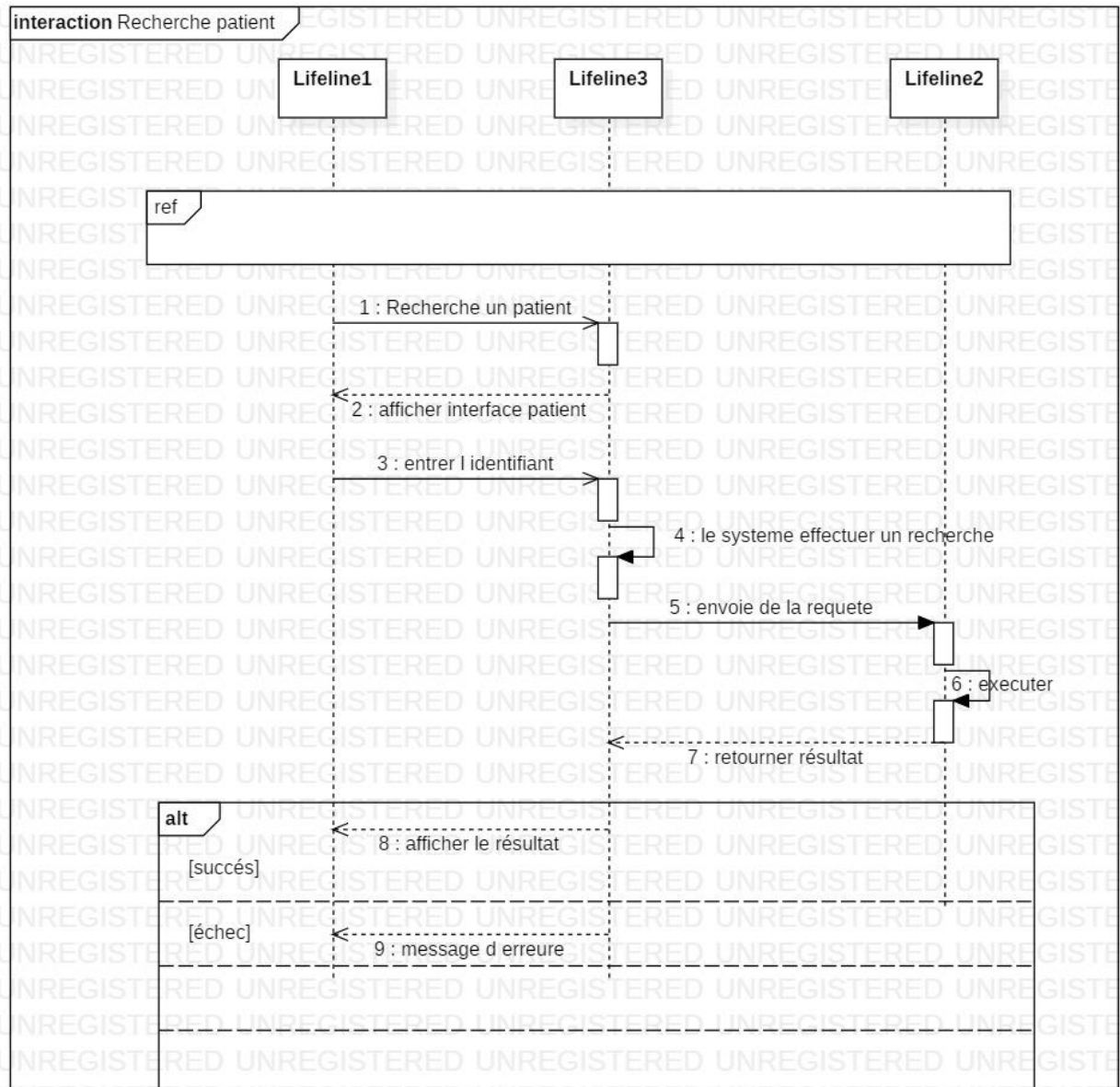


Figure 2.17 :Diagramme de Séquence recherche patient.

➤ **Diagramme de séquence du cas d’utilisation « Liste des patients » :**

Le scénario de liste des patients se fait selon la chronologie représentée comme suivante :

Lorsque le médecin envoi une demande de consultation de son archive, le système va lui afficher la liste patiente.

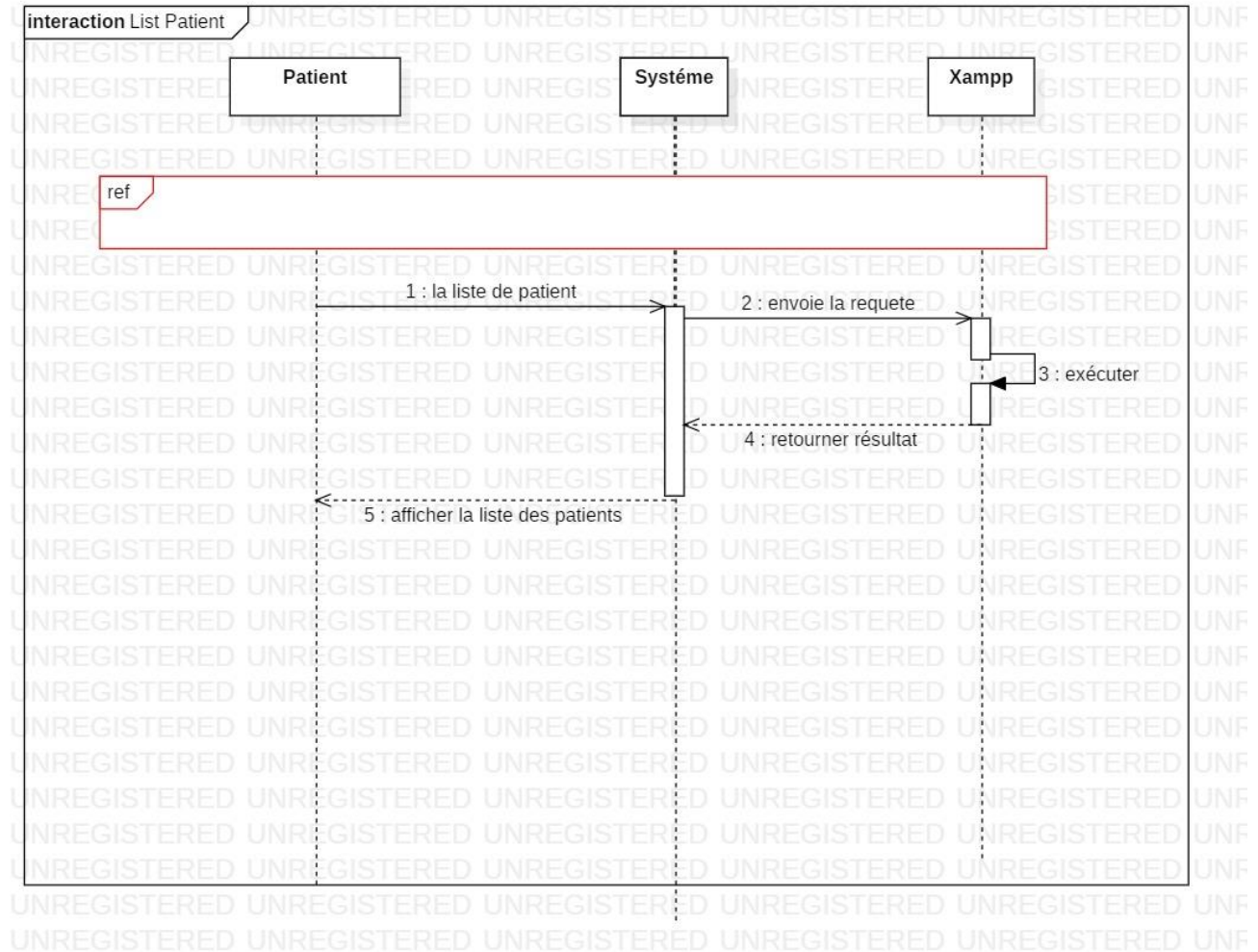


Figure2.18 : Diagramme de Séquence List des patients.

➤ **Diagramme de séquence du cas d'utilisation « Consulter patient » :**

Une fois le médecin reçoit la liste son archive, il doit envoyer une demande de consultation d'un patient spécifier, le système va lui afficher le patient correspondant.

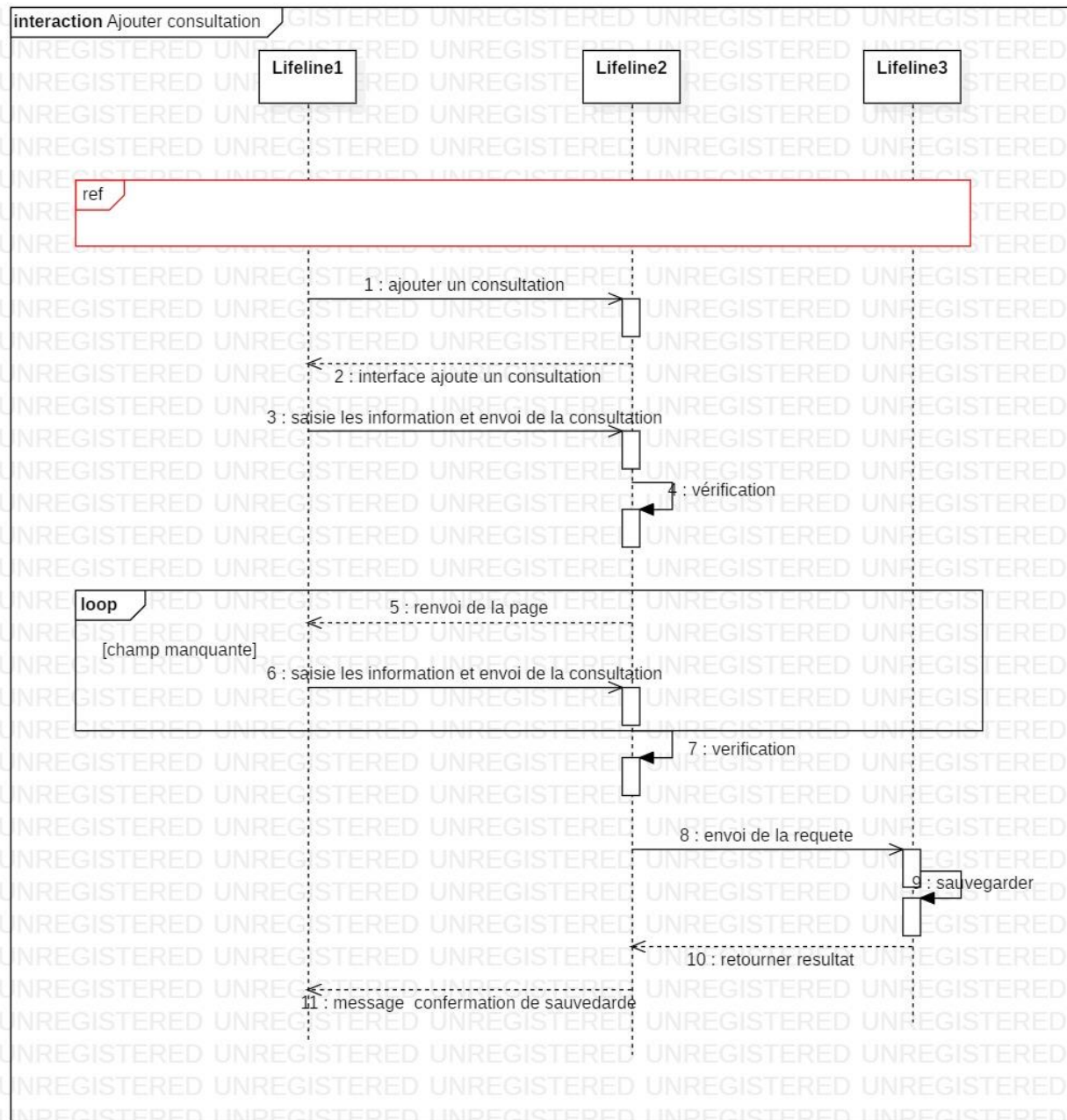


Figure2.19 : Diagramme de Séquence Consulter un patient.

Dans la partie précédente, nous avons présenté notre site web de façon détaillée et complété par une conception du système. En utilisant modèle conceptuelle de donnée (MCD), modèle logique de donnée (MLD) et le langage de modélisation « UML » illustré par le diagramme de cas d'utilisation et les diagrammes de séquences.

Dans la section suivante nous allons présenter la phase de réalisation de notre application et leurs outils de développement.

9.4. Réalisation du site web :

Dans cette section, nous définissons le système PHP et les outils que nous utiliserons pour développer notre site tel que HTML, XML, XAMPP.

- **PHP :**

PHP (Officiellement, ce sigle est un acronyme récursif pour PHP Hypertext Preprocessor) est un langage de scripts généraliste et Open Source, spécialement conçu pour le développement d'applications web. Il peut être intégré facilement au HTML [43]

- **HTML :**

HTML (Hypertext Markup Language), c'est le code utilisé pour structurer un page web et leurs contenants, par exemple, le contenu peut être structuré dans un ensemble de paragraphes, une liste de points à puces ou à l'aide d'images et d'un tableau de données. Par exemple, le contenu peut être structuré dans un ensemble de paragraphes, une liste de points à puces ou en utilisant des images et des tableaux de données la figure2.18). [44]

```

1  <!DOCTYPE html PUBLIC "-//W3C//DTD XHTML 1.0 Transitional//EN" "http://www.w3.org/TR/xhtml1/DTD/xhtml1-tran
2  <html xmlns="http://www.w3.org/1999/xhtml">
3  <head>
4
5  <meta http-equiv="Content-Type" content="text/html; charset=utf-8" />
6  <link rel="stylesheet" href="css/bootstrap.min.css">
7  <link rel="stylesheet" href="css/bootstrap-theme.min.css">
8  <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1, maximum-scale=1, user-scalable=no">
9  <title>Upload</title>
10 <link rel="stylesheet" type="text/css" href="css/staff.css"/>
11 <link rel="stylesheet" href="css/hide.css">
12 <style type="text/css">
13     .active a{
14         background-color: #c6c6c6;
15     }
16 </style>
17 </head>
18 <script type="text/javascript" src="js/rightde.js"></script>
19 <body>
20 <div class="container">
21 <div class="row">
22 <div class="col-md-12 col-xs-12 ">
23 <h1 class="text-center ">Keratoconus<br /><small style="font-size:20px">HM</small></h1></div>
24 </div>
25 </div>
26 </div>
27 <?php
38
39
40 <script src="js/jquery.min.js"></script>
41 <script src="js/bootstrap.min.js"></script>
42 <script src="js/pupdate.js"></script>
43 <script src="js/hidenv.js"></script>
44 </body>
45 <footer>

```

Figure2.20 : structures de fichier HTML.

- **XML :**

Le XML, pour Extensible Markup Language, désigne un langage informatique (ou métalangage pour être plus précis) utilisé, entre autres, dans la conception des sites Web et pour faciliter les échanges d'informations sur Internet. Ce langage de description a pour mission de formaliser des données textuelles. Il s'agit, en quelque sorte, d'une version améliorée du langage HTML avec la création illimitée de nouvelles balises.

Comme le langage HTML, le XML permet la mise en forme de documents via l'utilisation de balises, il répondait à l'objectif de définition d'un langage simple, facile à mettre en application. Naturellement utilisé pour décrire des données en s'appuyant sur des balises et des règles personnalisables. [44]

- **Xampp serveur :**

Est un acronyme récursif pour Apache + MariaDB + PHP + Perl Est un package de pile de solutions de serveur Web multiplateforme gratuit et open source développé par Apache Friends, composé principalement du serveur HTTP Apache, de la base de données MariaDB et d'interpréteurs pour les scripts écrits dans les langages de programmation PHP et Perl. Étant donné que la plupart des déploiements de serveurs Web actuels utilisent les mêmes composants que XAMPP, cela rend possible la transition d'un serveur de test local à un serveur en direct. [45]

9.4. Présentations du site :

9.5.1. Arborescence d'application :

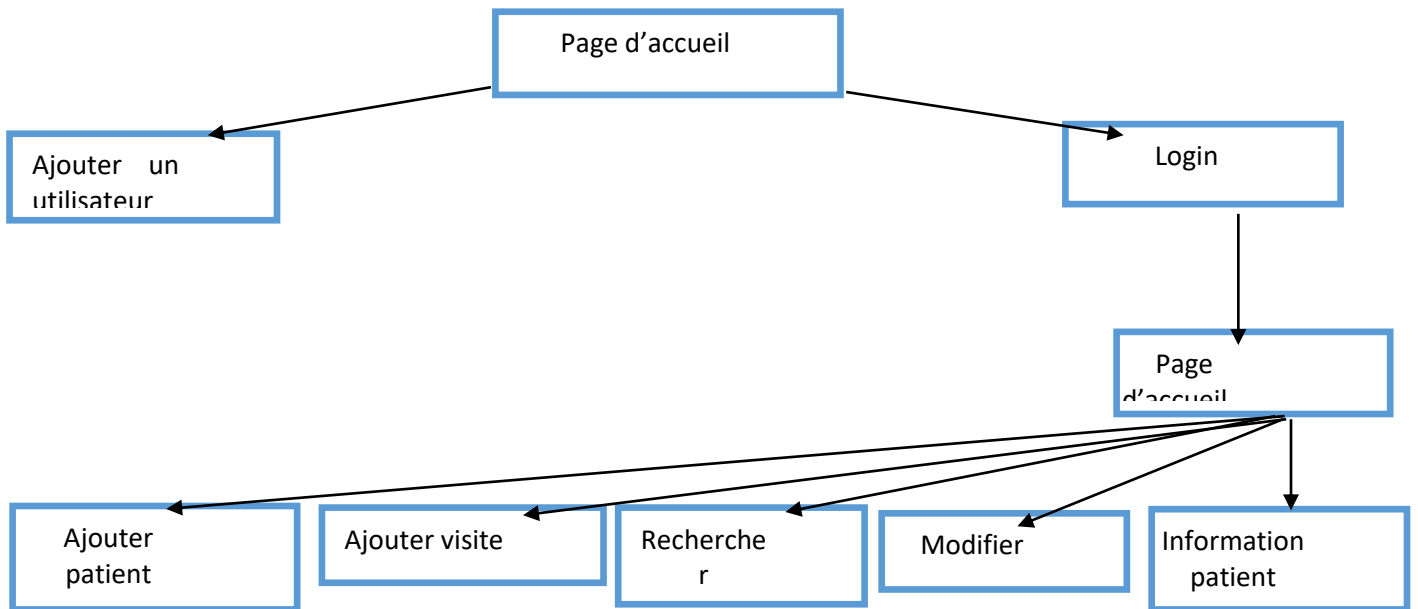


Figure 2.21 : Arborescence du site.

9.5.2. Présentation des interfaces :

Dans ce passage, nous présenterons les principales interfaces de notre site web, qui suivent le principe ergonomique pour rendre l'opération simple pour chaque utilisateur.

9.5.2.1. Interfaces Hommes-Machines

✓ L'interface principale :

Interface "authentification d'utilisateur"

Cette interface permet aux utilisateurs de saisir leur mot de passe et leur login afin d'accéder à leur interface.



Figure 2.22 : Interface d'authentification.

✓ **Interface d'accueil :**

Après l'authentification, une fenêtre d'accueil lui apparait ou il peut gérer les besoins de notre site.

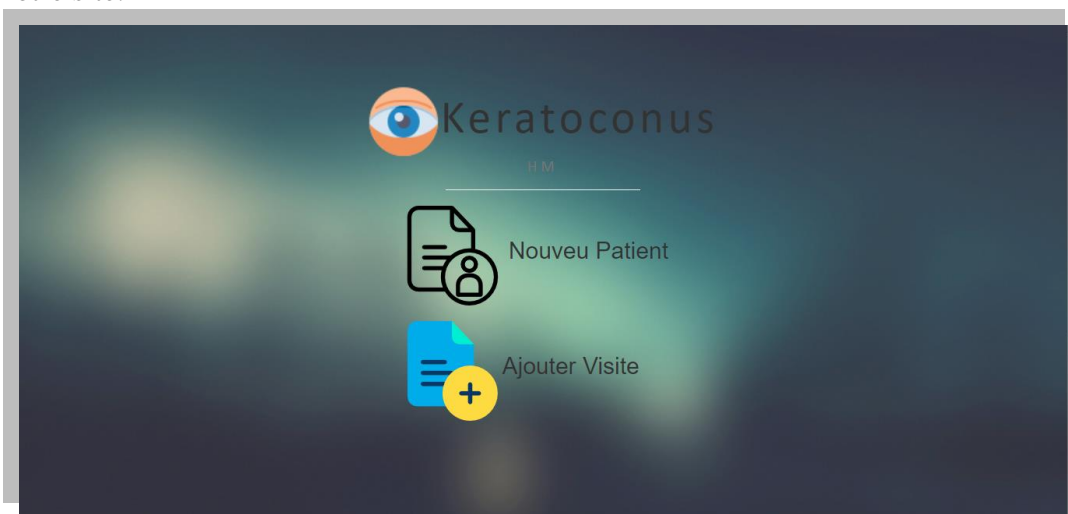


Figure 2.23 : Page d'accueil.

✓ **Interface d'ajout d'un nouveau patient :**

Cette interface permet à l'utilisateur d'ajouter les informations du patient, chaque patient a un identifiant.



Figure 2.24 : interface d'ajouter un patient.

✓ **Interface d'ajout d'une nouvelle visite :**

Cette interface permet au médecin d'ajouter les informations de la nouvelle visite, chaque visite a un identifiant même qu'identifiant du patient.

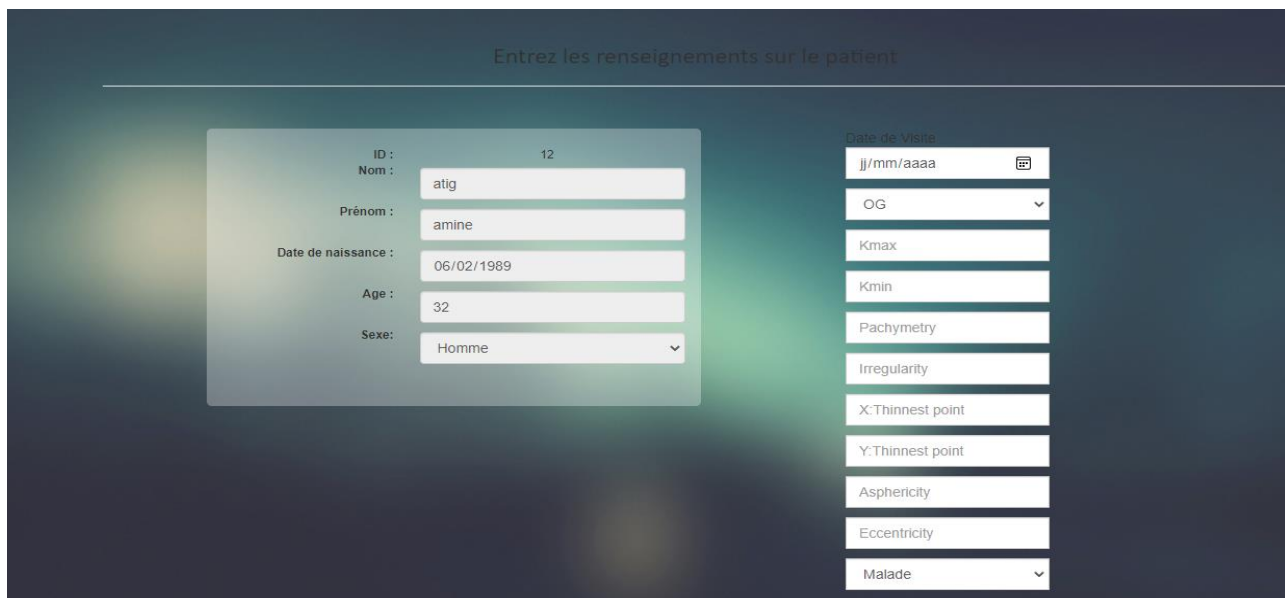


Figure2.25 : interface d'ajouter une nouvelle visite.

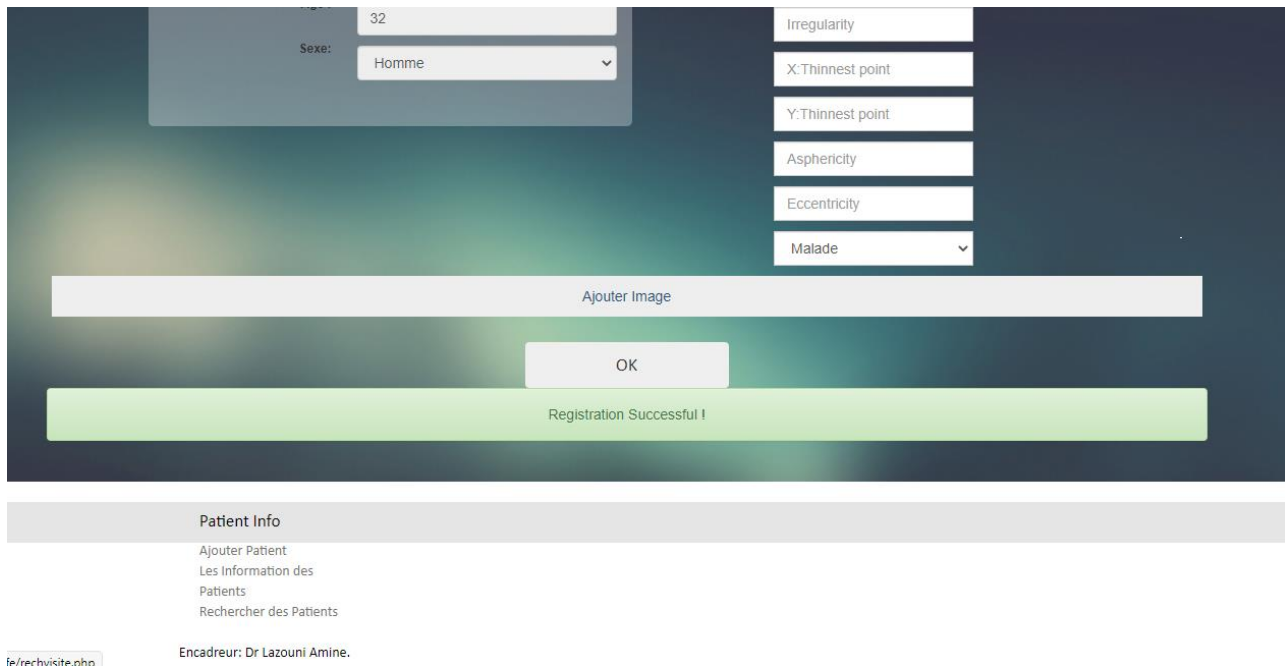


Figure2.26 : interface d'ajouter une nouvelle visite.

✓ **Interface de recherche un patient :**

Cette section permet de la recherche d'un patient dans la liste des patients par un identifiant, nom, prénom.

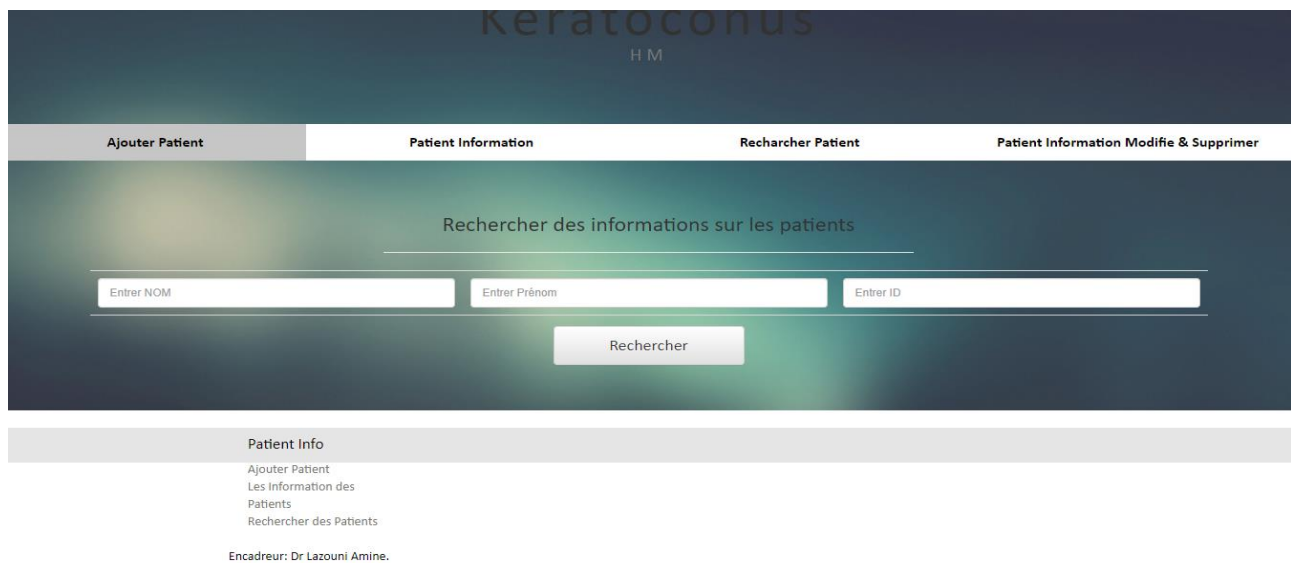


Figure2.27 : interface de rechercher d'un patient.

✓ **Interface d'ajouter une nouvelle visite à un patient :**

Cette interface permet au médecin d'ajouter une nouvelle visite à un patient a déjà fait une visite.

Rechercher des informations sur les patients

Entrer NOM Entrer Prénom Entrer ID

Rechercher

ID : 12
Nom de Patient : atig amine
Date de naissance : 1989-02-06
Sexe : Homme
[Ajouter visite](#)

Patient Info

- Ajouter Patient
- Les Information des Patients
- Rechercher des Patients

Encadreur: Dr Lazouni Amine.

Figure2.28 : interface d'ajouter une nouvelle visite à un patient enregistré.

✓ **Interface de visualiser les informations du patient :**

Cette interface permet de voir toutes les informations du patient lesquelles sont les paramètres numériques et les images.

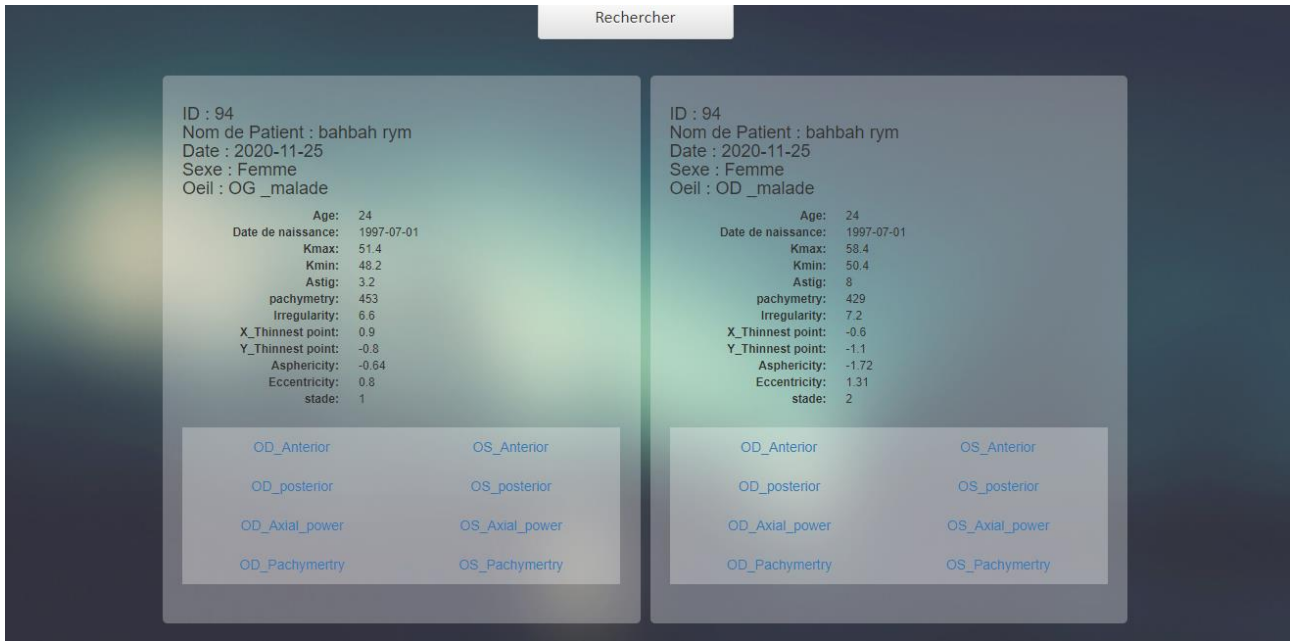


Figure2.29 : interface de visualiser les infos du patient.

✓ **Interface de modifier ou supprimer un patient :**

L'interface qui suit permet de modifier ou supprimer un patient afin de rechercher sur ce patient avec leur identifiant, nom et prénom.

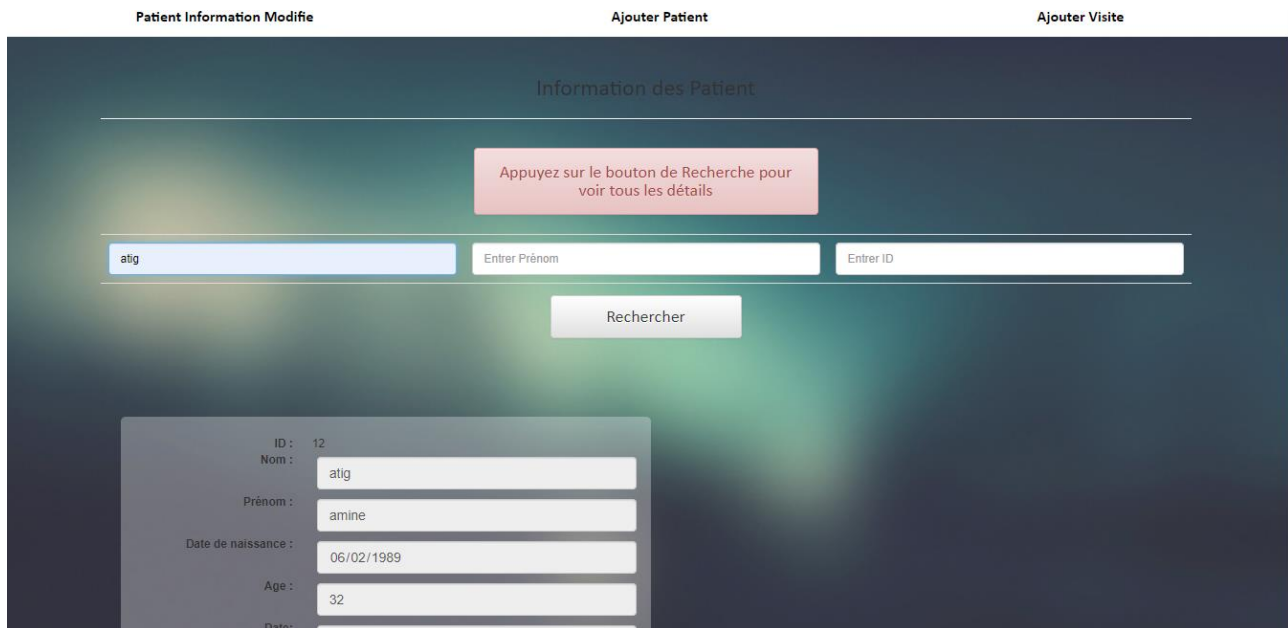


Figure2.30 : interface du supprimer ou modifier un patient(1).

Patient Info
 Ajouter Patient
 Les Information des Patients
 Rechercher des Patients
 Encadreur: Dr Lazouni Amine.

Figure2.31 : interface du supprimer ou modifier un patient (2).

✓ **Interface de suppression d’un utilisateur :**

Cette interface permettant de supprimer ou ajouter un utilisateur, afin du confirmer la demande.

Bienvenus saidi Options. Déconnecter

S.No	Admin Reg.No	Admin NOM	Admin NOM D'UTILISATEUR	Admin Email	
1	2	supahanan	25	hananesaidi	Supprimer
2	3	saidi	0	belagoune	Supprimer

Patient Info

Figure2.32 : interface d’insérer ou supprimer un utilisateur.

✓ **Interface de remplir les informations d'utilisateur :**

Cette interface permettant de remplir les informations d'un utilisateur.

The screenshot shows a web interface for user registration. At the top, there are two buttons: 'insert administration' (highlighted in grey) and 'Supprimer administration'. Below these is a pink notification box stating: 'Ce formulaire d'inscription utilisateur crée des comptes administrateurs.' The main form is titled 'Formulaire d'inscription à l'administration' and contains the following elements:

- A header: 'Tous les champs sont obligatoires'
- Input fields: 'NOM', 'Nom d'utilisateur', 'Email', 'Mot de Passe', and 'Conforme mot de Passe'.
- An 'OK' button.
- A footer instruction: 'Appuyez sur le bouton Soumettre après avoir terminé'.

Figure2.33 : Interface de remplir les informations d'un utilisateur.

✓ **Interface de liste des patients :**

Cette interface représente la liste des patients.

The screenshot displays a patient list interface. At the top, there are navigation buttons: 'Ajouter Patient', 'Ajouter Visite', 'Rechercher Patient', and 'Patient Information Modifie & Supprimer'. The main content area is titled 'Les détails des patients' and contains a table with the following data:

N°	ID_visite	ID_Patient	NOM	PRENOM	AGE	Date DE NAISSANCE	SEXE	OS/OD	Date	Kmax	Kmin	Astig	Pachymetry	Irregularity	Point faible	Stade	classe		
1	43	12	alig	amine	32	1989-06-02	Homme	OD	2021-02-27	44.8	41.2	3.6	459	3.2	-0.1/-1.6	-0.3/0.55	1	malade	Voir les images
2	44	56	bachiri	souad	38	1983-10-17	Femme	OD	2021-03-03	49.9	42.9	7	558	19.7	-2.4/-0.8	0.01/-0.1	2	malade	Voir les images
3	45	57	nagaz	abdelkarim	28	1993-07-14	Homme	OD	2020-10-24	43.9	37.5	6.4	474	2.8	1.2/-2.2	-0.07/0.27	1	malade	Voir les images
4	46	57	nagaz	abdelkarim	28	1993-07-14	Homme	OG	2020-10-24	45.4	41.4	4	482	3	0.5/2.5	-0.89/0.95	1	malade	Voir les images
5	47	58	ziane	abdesamed	15	2006-11-15	Homme	OG	2021-03-02	57	50.5	6.5	510	6.9	0.9/-0.5	-1.49/1.22	2	malade	Voir les images

Figure2.34 : Interface de l'affichage des listes.

9.5.2.1. Interfaces de la plateforme :

✓ **Interface d'accueil du XAMP :**

L'interface suivante présente le démarrage du XAMP pour ajouter une nouvelle base de données.

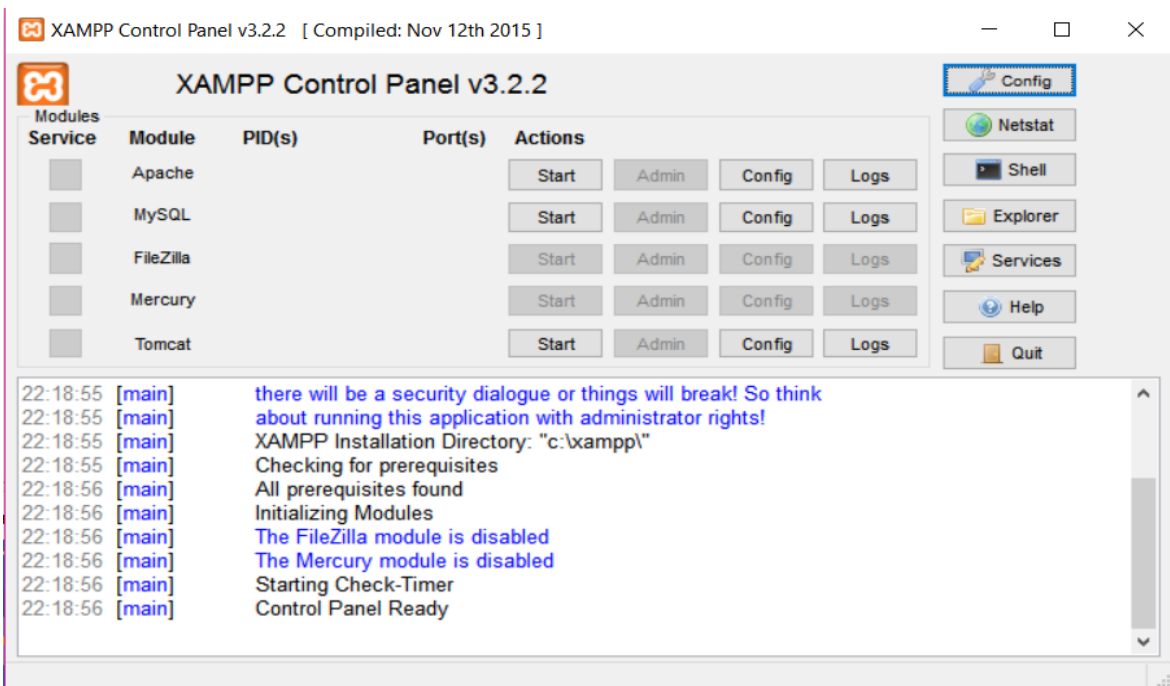


Figure2.35 : interface d'accueil du XAMP.

Afin d'appuyer sur start pour APACHE et MySQL, on va ouvrir un navigateur chrome pour dégager localhost qui nous permet de créer une nouvelle base de données à l'aide de phpMyadmin comme la figure montre.

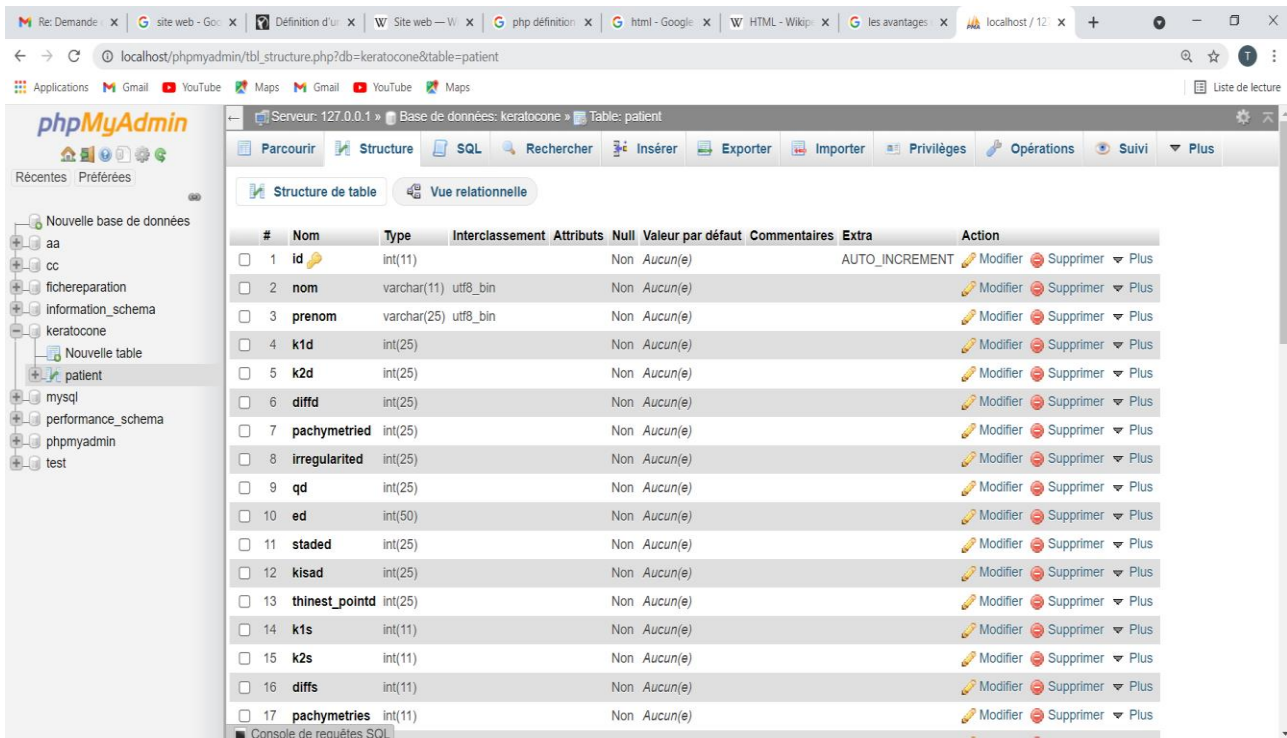


Figure 2.36 : interface de phpMyAdmin.

✓ Interface de Notepad :

Ce logiciel nous permet d'écrire notre propre programme pour créer notre site web, la figure suivante représente l'interface de ce logiciel.

```

<?php
include 'connect.php';
if(isset($_POST['submitta']))
{
    $insittedby = $_POST["sadmuna"];
    $pet_nom = $_POST['nom'];
    $pet_prenom = $_POST['prenom'];
    $pet_sexe = $_POST['sexe'];
    $pet_dn = $_POST['dn'];

    $strn_date = date("Y-m-d H:i:s");
    $pet_age = ($strn_date - $pet_dn);
    $querya = "INSERT INTO `ajouter`
(`identifiant`, `nom`, `prenom`, `daten`, `sexe`, `age`)
VALUES
('$insittedby', '$pet_nom', '$pet_prenom', '$pet_dn', '$pet_sexe', '$pet_age')";

    if(mysqli_query($con,$querya)){
        $success = '<div align="center" class="alert alert-success">Registration Successful !</div>';
        echo '<script type="text/javascript">';
        /*header("Location: rechpatient.php");*/
        // echo 'alert("' . $pet_id . '")';
        echo '</script>';
    }
}

if(isset($_POST['submit']))
{
    $insittedby = $_POST["sadmun"];
}
    
```

Figure2.37 : Interface du Notepad.

10. Conclusion :

Dans ce troisième chapitre, nous avons présenté notre étude pratique en décrivant la base de données collectée composée de 3048 échantillons présentant une BDD numérique utilisant les différents attributs qui font part de la constitution de la topographie cornéenne, où chaque échantillon est décrit par 13 descripteurs.

Ensuite ; nous avons créé un site web qui permet : d'ajouter et de rechercher un patient, faire le calcul automatique du stade du kératocône, comme il permet de faire l'affichage des images de la carte topographique.



Le kératocône est une maladie d'actualité délicate qui touche la cornée, dont le diagnostic précoce reste difficile et très important.

Plusieurs recherches ont été réalisées dans la littérature, pour développer des systèmes d'aide au diagnostic afin de relever ce problème.

Dans ce modeste travail, nous avons présenté une étude sur les données et les images de la topographie cornéenne, nos efforts ont été dirigés vers la collection d'une nouvelle base de données et la détection automatique du kératocône, pour répondre aux besoins des médecins.

Nous avons fait la collecte des données au niveau d'un centre hospitalier privé « Clinique LAZOUNI » qui se situe à Tlemcen.

Cette base de données regroupe des paramètres numériques et des images de la topographie cornéenne réalisées avec un topographe du type OrbscanIII.

Ensuite nous avons fait une étude statistique sur notre base de données (BDD) qui a été réalisée en collaboration avec plusieurs médecins ophtalmologues ainsi qu'un optométriste et cela pendant leurs consultations.

Nous avons créé un site web qui permet aux utilisateurs d'accéder aux données de la BDD collectée. Ce site web permet de faire : l'ajoute d'un patient, l'ajoute d'une visite, l'ajoute d'un nouvel examen ophtalmologique, modification d'un patient, recherche d'un patient, afficher les listes des patients, consulter un patient....

Bien évidemment, ce projet de fin d'étude laisse la place à de futurs travaux, l'ambition est de détecter le kératocône de la façon automatique à but d'améliorer le diagnostic de ces maladies et trouver un traitement actif pour stopper leurs évolutions. Les perspectives suscitées par un tel travail concernent les applications dans le cadre de la détection automatique du kératocône, d'autres études complémentaires devraient être menées à développer prochainement les éléments suivants :

- Élargir la base de données en récoltant plus de sujets à traiter pour avoir une variété de cas ce qui donne plus de robustesse à l'étude des paramètres validés par les experts.
- Trouver une solution pour avoir l'accès direct aux images de topographie cornéenne afin d'éviter la perte de données et effectuer les traitements sur les images originales.
- Appliquer les techniques du traitement d'image sur les images collectées afin de les analyser.
- Utiliser l'intelligence artificielle pour faire une détection précise et efficace.

Références bibliographiques :

[1] : Jonas JB, Nangia V, Matin A, et al. Prevalence and associations of keratoconus in rural Maharashtra in central India : The central India eye and medical study. Am J Ophthalmol 2009;148:760-65.

[2] : Weissman, Barry A ; Yeung, Karen K. « Keratoconus ».journal Medscape.Mai2019.

[3] : <https://www.snof.org/encyclopedie/k%C3%A9ratoc%C3%B4ne>

[4] :M.GhemameP.CharpentierF.Mouriaux « Topographie cornéenne en pratiqueCorneal topography in practice» Journal Français d'Ophtalmologie 67-79, janvier 2020.

[5]: Murilo Barreto SouzaFabricio Witzel MedeirosDanilo Barreto SouzaRenato GarciaMilton Ruiz Alves “Evaluation of machine learning classifiers in keratoconus detection from orbscan II examinations” journal clinical science.12.2010

[6] : H. Bagherinia, X. Chen, C. Flachenecker, R. Angeles, D. Burger, P. Caroline, J. Dishler, D. Tanzer, D. Schanzlin, K. Reeder ; «Support Vector Machine (SVM)-Based Classification of Corneal Topography». Investigative Ophthalmology & Visual Science, 49(13), 1023-1023, 2008.

[7] : S Kaitwanidvilai, U Seeboonruang, H Aoyama « computational Intelligence and Neuroscience » Advanced Signal Processing and Adaptive Learning Methods journal ,2019.

[8] : P. AgostinoAccardo, S. Pensiero ; «Neural network-based system for early keratoconus detection from corneal topography».Journal of Biomedical Informatics, 35(3), 151–159, 2002.

[9] : Claude Touzet « les réseaux neurones artificielles, introduction au connexionnisme »2016.

- [10] : M. D. Twa, S. Parthasarathy, M. A. Bullimore, C. Roberts, A. M. Mahmoud, Tom Raasch and D. j. Schanzlin ; « Automated decision tree classification of keratoconus from videokeratography». *Investigative Ophthalmology and Vision Science*, E-Abstract, 1082, 46,2000.
- [11] : X. Li, H. Yang, S. Yaron, « Keratoconus : Classification scheme based on Videokeratography and clinical signs ». *Journal of cataract & Refractive surgery*, 35(9) ,1597-1603, 2009.
- [12] : Basli, V. Borderie, L. Laroche ; «Fourier-Domain Optical Coherence Tomography Imaging In Keratoconus : a Corneal Structural Classification» .*Ophthalmology*, 120(12), 2403–2412, 2013.
- [13] : J. Anastasios, K. Poulos, G. Asimellis ; «Revisiting keratoconus diagnosis and progression classification based on evaluation of corneal asymmetry indices, derived from Scheimpflug imaging in keratoconic and suspect cases». *Clinical Ophthalmology*, 7, 1539–1548, 2013.
- [14] : J. Anastasios, K. Poulos, G. Asimellis ; «Revisiting keratoconus diagnosis and progression classification based on evaluation of corneal asymmetry indices, derived from Scheimpflug imaging in keratoconic and suspect cases». *Clinical Ophthalmology*, 7, 1539–1548, 2013.
- [15] : C. Chan, M. Ang, A. Saad, D. Chua, M. Mejia, L. Lim, D. Gatinel ; «Validation of an Objective Scoring System for FormeFruste Keratoconus Detection and Post-LASIK ectasia risk assessment in asian eyes». *Cornea*, 34(9), 996-1004, 2015.
- [16]: E Pateras « Comparison for Kmean and Astigmatism for Orbscan IIz and Pentacam at Different Stages of Keratoconus - A Clinical Study »*ophthalmology research journal* ;2020.
- [17] : laurent Audibert « optimisation des GPU »*journal de base de données et langage SQL*, 2021.
- [18] :Lazzoni Mohamed El Amine « Aide au diagnostic pour un médecin anesthésiste réanimateur » thèse de doctorat. 2014

- [19] : <https://www.taktilcommunication.com/glossaire/projets-et-sites-internet/site-web.html>. (Consulté le juin 2021).
- [20] : https://fr.wikipedia.org/wiki/Site_web#D%C3%A9finition. (Consulté le juin 2021).
- [21] : Christophe, « MCD ou Modèle Conceptuel des Données », Base de données, nov. 26, 2015. <https://www.base-de-donnees.com/mcd/> (consulté le mars 03, 2020).
- [22] : Jean-François Pillou, « MERISE - Modèle logique des données - Comment Ça Marche ». <https://www.commentcamarche.net/contents/661-merise-modele-logique-des-donnees> (consulté le mars 03, 2020).
- [23] : « Programmation UML ». <http://niedercorn.free.fr/iris/iris1/uml/uml01.pdf> (consulté le sept. 19, 2020).
- [24] : « Programmation UML ». <http://niedercorn.free.fr/iris/iris1/uml/uml01.pdf> (consulté le sept. 19, 2020).
- [25] : Qu'est-ce que le langage UML (langage de modélisation unifié) ? », Lucidchart. <https://www.lucidchart.com/pages/fr/quest-ce-que-le-langage-de-modelisation-unifie>
- [26] : « Qu'est-ce qu'un diagramme de cas d'utilisation UML ? », *Lucidchart*. <https://www.lucidchart.com/pages/fr/diagramme-de-cas-dutilisation-uml> (consulté le sept. 27, 2020).
- [27] : Lucidchart, « Diagramme de séquence UML ». <https://www.lucidchart.com/pages/fr/diagramme-de-sequence-uml> (consulté le sept. 24, 2020).
- [28] : <https://en.wikipedia.org/wiki/PHP>.
- [29] : <https://www.google.com/search?q=html&oq=html&aqs=chrome..69i57j69i60l2.3961j0j15&sourceid=chrome&ie=UTF-8> . (Consulté le juin 2021).
- [30] : XML (Extensible Markup Language) : définition et description simple ». <https://www.journaldunet.fr/web-tech/dictionnaire-du-webmastering/1203615-xml-extensible-markup-language-definition-traduction/> (consulté le sept. 23, 2020).
- [31] : <https://en.wikipedia.org/wiki/XAMPP>. (Consulté le juin 2021).