



جامعة أبو بكر بلقايد - تلمسان

Université Abou Bakr Belkaïd de Tlemcen

Faculté de Technologie

Département de Génie électrique et Electronique

Laboratoire de Recherche de Génie Biomédical

MEMOIRE DE PROJET DE FIN D'ETUDES

Pour obtenir le Diplôme de

MASTER en GENIE BIOMEDICAL

Spécialité : Electronique biomédicale

Présenté par : Mous Amina et Mostafi Meriem

Reconnaissance des données kératocône par une méthode intelligente

Soutenu le 30 juin 2013 devant le Jury

Mr.	Abderrahim Mohamed Amine	<i>MCB</i>	Université de Tlemcen	Président
Mr.	Chikh Mohamed Amine	<i>Prof</i>	Université de Tlemcen	Encadreur
Mr.	Lazouni Mohamed Amine	<i>Doct</i>	Université de Tlemcen	Co-encadreur
Mme.	Benchaib Yasmine	<i>MAA</i>	Université de Tlemcen	Examineur

Année universitaire 2012-2013

Dédicace

*Je remercie Dieu tout puissant de m'avoir donné le courage pour achever ce
modeste travail que je dédie :*

A mon maître, mon guide, mon soutien,

Mon livre dans la grande école de vie, toi mon adorable père.

Au grand cœur rempli d'amour de tendresse et de patience

Toi ma mère bien aimée

*A qui je suis très reconnaissante pour leur esprit constructif et qui représentent
pour moi la source de confiance et tendresse,*

A Mes très chers frères : Oussama, Chaqib, et Walid

*A mon très cher fiancé et mon futur mari Mokhtar qui n'a cessé de
m'encourager et à ma belle famille*

A toute ma grande famille,

*A mes formidables amies : Basma, Hanane, Kamila, Sara, Ihssane, Salma,
yasmine et laïla je leur souhaite plein de succès et du bonheur dans leur vie.*

*Et sur tout A ma chère collègue Amina, qui a été pour moi un soutien
inestimable*

A tous les étudiants de la promotion 2012-2013 option EBM

A tous les enseignants qui ont participé à ma formation

M.MERIE M

Dédicace

A mes très chers parents, à qui je leur dois toute ma reconnaissance pour leurs

Soutiens et sacrifices durant tout le long de mes études,

A mes frères Mohamed, Ahmed, Amar, Aissam,

Et mes sœurs Naima, Farida, Nadjia

*A mon fiancé et mon futur mari Abdelkader qui n'a cessé de
m'encourager et à ma belle famille*

A ma grande mère maternelle,

A mes tantes Zoolikha, Chahrazad et mon petit oncle Mohamed amine,

A ma chère collègue Meriem, qui a été pour moi un soutien inestimable,

A mes chères amies Siham, Latifa

Enfin à tous ceux et celles qui me sont chers.

Je dédie ce travail.

M. Amina

Remerciement

Avant toute chose, nous tenons à remercier Dieu pour l'accomplissement de ce projet.

Nos remerciements s'adressent à Mr CHIKH M.A, maître de conférences à l'université de Tlemcen, qui a encadré ce travail nous donnant ainsi l'opportunité de découvrir le domaine d'aide au diagnostic à travers un projet dans son intégralité. Sa confiance ne nous a jamais fait défaut, il a été à la fois pertinent, pédagogue et enthousiaste dans son suivi du projet. En dépit d'un emploi du temps fort chargé, nous avons conscience des efforts qu'il a dû fournir pour se rendre disponible. Et nous lui sommes extrêmement reconnaissants.

Nous ne saurions, réellement, trouver les expressions éloquentes que mérite notre Co-Encadreur Lazouni Amine doctorant au département de biomédical à l'université Abou-Bekr Belkaid pour sa patience, son encouragement, son aide, son dévouement et son *abnégation*, son apport précieux et sa présence efficace durant toute cette étude.

Nous remercions également Mr Abderrahim Mohamed Amine , maître de conférences à l'université de Tlemcen, pour son intérêt à notre travail et de nous honorer de sa présence parmi les membres du jury.

Nos remerciements à Mme. Benchaib Yasmine , maître assistant à l'université de Tlemcen, qui a participé à l'examen de ce travail.

Sans omettre notre collègue Mr. Fandi Tadj Eddine Master en EBM, Mell Nessma et Mr. Ben Mira pour ses conseils et leurs aide et leurs disponibilité à tout moment.

En fin, nous remercions tous nos enseignants du département de l'université Abou-Bekr Belkaid, sans oublier de citer tous les enseignants qui ont contribué à notre formation depuis l'école primaire jusqu'aux études universitaires.

Résumé

Le kératocône est une maladie de la cornée, la lentille frontale transparente de l'œil (comme le cristal sur une montre), qui se produit dans la population en général à un taux d'environ un sur 2000. Il commence généralement à l'adolescence et peut s'aggraver avec le temps. Il est souvent découvert lorsque la vision ne peut pas être correctement corrigée par des lunettes. Résultats kératocône dans l'amincissement des tissus cornéens. Par conséquent, la cornée est bombée, la structure en forme de dôme lisse, claire et adopte une configuration plus conique et irrégulière. En raison de ce changement dans la forme, la cornée perd sa capacité à former une image claire dans l'œil et la vision du patient peut diminuer de façon drastique.

Le diagnostic de cette pathologie consiste à classer le patient suivant deux situations "kératocône ou sain " en analysant un certain nombre de paramètres qui la caractérisent. Et vu le nombre important d'individus et la complexité d'interprétation des paramètres, Il est possible de se trouver devant un problème de classification.

Ceci nous a amené à élaborer notre projet de travail qui consiste à réaliser un système d'aide aux médecins ophtalmologues pour la reconnaissance du kératocône

Mots-clés: intelligent artificiel, topographie cornéenne, base de données, kératocône

Abstract

Keratoconus is a disease of the cornea, the clear front lens of the eye (like the crystal on a watch), which occurs in the general population at a rate of about one in 2000. It usually begins in adolescence and can worsen over time. It is often discovered when vision can not be properly corrected with glasses. Keratoconus results in thinning of the corneal tissue. Therefore, the cornea is curved, shaped structure of smooth, clear dome and takes a more conical and irregular configuration. Because of this change in shape, the cornea loses its ability to form a clear image in the eye and the patient's vision can decrease drastically.

The diagnosis of this disease is to classify the patient following two situations "Keratoconus healthy" by analyzing a number of parameters that characterize. And given the large number of individuals and the complexity of interpretation of the parameters, it is possible to be faced with a problem of classification.

This led us to develop our project work is to provide a support system to ophthalmologists for recognition of keratoconus

Keywords: AI, corneal topography, keratoconus, data base

Table des matières

Introduction général.....	1
Chapitre I: Présentation du kératocône	
I.1 Introduction.....	3
I.2 La cornée.....	3
I.2.1 Description anatomique	3
I.2.2 Description fonctionnelle de la cornée.....	5
I.3 Les principes de base du kératocône	6
I.3.1 Définition	6
I.3.2 Les causes	6
I.3.3 L'évolution de kératocône :	7
I.3.4 Moyens thérapeutiques	8
I.3.4.1 Les lunettes	8
I.3.4.2 Les lentilles de contact.....	9
I.3.4.3 Les implants toriques :	10
I.3.4.4 Les anneaux intra-cornéens :	10
I.3.4.5 La technique cross-linking.....	13
I.3.4.6 La greffe de cornée :	14
I.4 Conclusion	14
Chapitre II: la topographie cornéenne et la base des Données	
II.1 Introduction	15
II.2 Définition la topographie cornéenne « Orbscan » :	15
II.3 Principes de fonctionnement.....	16
II.4 Explication des cartes de topographie cornéenne :	17
II.4.1 Les cartes de courbure :	17
II.4.2 La pachymétrie	18
II.5 Description de la base de données	18
II.5.1 Statistique de la base de données	20
II.6 Conclusion	21
Chapitre III: Notions sur les techniques intelligentes utilisées	
III.1 Introduction	22
III.2 L'Apprentissage	22

III.2.1 L'apprentissage supervisé	23
III.3 Les réseaux de neurones	23
III.3. 1 Architecture des Réseaux de Neurones	24
III.4 Machine à Vecteurs de Support ou Séparateur à Vaste Marge (SVM)	26
III.4.1 Définition	27
III.4.2 Principe de fonctionnement.....	27
III.5 Les plus proches voisins (ppv)	29
III.5.1 Définition	29
III.5.2 Algorithme de classification par k-PPV	29
III.5.3 Mise en place de la méthode	30
III.5.4 Critiques de la méthode	31
III.5.5 Les avantages et les inconvénients de la méthode	32
III.6 l'arbre de décision	32
III.6.1 Apprentissage des arbres de décision	33
III.6.2 Critiques de la méthode	33
III.7 Conclusion.....	34
Chapitre IV : Résultats obtenus et discussion	
IV.1 Introduction.....	35
IV.2 Paramètres d'évaluation.....	35
IV.3 Résultats obtenus	37
IV.3. 1 Classification par la méthode neuronale	37
IV.3.2 Classification par la méthode SVM	38
III. 3 Classification par la méthode K-NN	39
IV.3.4 Classification par la méthode C4 .5	40
IV.4 Etude comparative entre les quatre resultats	41
IV.5 Conclusion	43
Conclusion générale	44

Liste des figures

Figure I.1 : Les couches principales.....	4
Figure I.2 : Réflexion par le film lacrymal recouvrant une cornée humaine	5
Figure I.3 :Déformation conique de la cornée.....	6
Figure I.4 : La cornée est normalement arrondie et régulière.	7
Figure I. 5 : lentille de contact rigide	9
Figure I.6: Les implants toriques.....	10
Figure I.7 : Les différents anneaux intra-cornéens.....	11
Figure I. 8 : types d’anneaux intra-cornéens	12
Figure I.9: technique cross-linking.....	13
Figure II.1 : La topographie Orbscan	16
Figure II.2 : Principe de l’Orbscan.....	17
Figure II.3 : les cartes de topographie cornéenne.....	17
Figure II.4 : histogramme de sexe	18
Figure II.5 : histogramme de la classe	18
Figure III .1 : Neurone artificiel.....	24
Figure III .2 : Réseau de neurones multicouches	25
Figure III.3 : Données linéairement séparables.....	28
Figure III.4 : Données non linéairement séparable	29
Figure IV.1 : Histogramme représentatif de la Se, Sp et du Tc pour les quatre méthodes	42
Figure IV.2 : Histogramme représentatif de la matrice de confusion pour les 4 approches ...	43

Liste des tableaux

Tableau I.1 : les différents stades d'évolution de kératocône	8
Tableau II.1 : des paramètre de la base de donnée	19
Tableau II.2 : statistiques de la classe kératocône.....	20
Tableau II.3 : statistiques de la classe normal	20
Tableau IV .1: Matrice de confusion.....	37
Tableau IV .2 : paramètres de meilleurs résultats obtenus par RNS	37
Tableau IV .3 : matrice de confusion obtenu par la méthode RNS.....	38
Tableau IV .4 : matrice de confusion obtenu par la méthode SVM.....	39
Tableau IV .5 : matrice de confusion obtenu par la méthode K-NN.....	39
Tableau IV .6 : matrice de confusion obtenu par la méthode C4.5	40
Tableau IV .7 : Comparaison des résultats avec les quatre méthodes de classification.....	41

Les abréviations

B

BDD : Base De Données

C

C4.5 : l'arbre de décision

CXL : Le cross-linking

D

DC : la différence entre les courbures

DE : la somme des différences entre l'élévation de la cornée

F

FN : Faux négatif

FP : Faux positif

M

ML: *Machine Learning*

P

PMC : Perceptrons Multicouches

PPV : Les plus proches voisins

R

RNA: le réseau de neurone artificiel

S

Se : Sensibilité

Sp : Spécificité

SVM: Support Vector Machines

T

TC : Taux de classification

U

UVA : ultra violet type A

V

VN : Vrai négatif

VPN : La valeur prédictive négative

VP : Vrai positif

VPP : valeur prédictive positive

X

Xor : la fonction ou exclusif.

Introduction générale

Le diagnostic médical ne cesse d'évoluer dans la majorité des disciplines de la santé. Dans ce mémoire de master nous nous intéresserons au diagnostic du kératocône qui correspond à une déformation de la cornée vers l'avant.

Nous proposons un modèle d'aide au diagnostic médicale en ophtalmologie pour aider les experts du domaine à détecter le kératocône à base de la topographie Orbscan 2.

Depuis plus de trois décennies plusieurs travaux ont été réalisés dans le domaine d'ophtalmologie plus exactement sur la cornée.

Nous citons le travail de F.DERRIEN et al en 1992 ; intitulé « corneal topography », ils ont réalisé un Keratotomy, c'est un moyen utile dans le domaine de la chirurgie réfractive pour afficher les anomalies. Ils ont présenté une topographie cornéenne suivant le principe de l'interpolation par splines plaque mince. [1]

Un autre travail fait par P. PERISSTI et al en 1998; intitulé « Automatic keratoconus detection by means of neural network: comparison between a monocular and a binocular approach », ils ont appliqué les réseaux de neurones pour l'identification automatique des kératocônes des cartes cornées, à l'aide de 9 paramètres choisis parmi ceux proposés dans la littérature. Ils ont comparé deux méthodes, la première (monoculaire), dans lequel chaque œil est considéré comme seul et le second (binoculaire) dans lequel les informations des deux yeux du même sujet sont appliquées à l'entrée du réseau de neurones. L'information binoculaire pourrait en fait améliorer la capacité du réseau de neurones pour identifier les tendances cornéo-topographique kératocône. La comparaison des résultats obtenus entre les deux approches ne montre pas de différence significative: une même sensibilité de 92% dans les deux cas et une spécificité de 99% et 100% respectivement ont été obtenues.[2]

La détection du kératocône est impérative pour pouvoir réaliser une chirurgie esthétique Lasik », pour cela plusieurs travaux ont vu le jour comme le travail réalisé par J. F. Laliberté et al en 2003 qui s'intitule « Topography-based screening for previous laser correction of hyperopia », ils ont utilisé un outil de sélection sur la base de la topographie cornéenne, pour la détection de la correction de laser à hypermétrope. Un total de 312 topographies a été choisi au hasard : 251 à partir de cornées non opérées et 61 à partir de cornées avec LASIK pour corriger l'hypermétropie. Toutes les topographies ont été effectuées en utilisant une unité Orbscan II. Chirurgies LASIK ont été effectuées à l'aide d'un laser excimer. Les algorithmes

utilisent deux critères: DE (la somme des différences entre l'élévation de la cornée) et DC (la différence entre les courbures). Donc ils ont fait la classification entre cornées opérées et non opérées, ils ont utilisé l'approche Support Vector Machine (SVM) comme support d'apprentissage. Nous notons que la détection basée sur la courbure est plus précise avec 2,4% de faux positifs et de 3,3% de faux négatifs. [3]

Une recherche très récente fait en Janvier 2013 par Harminder Dua professeur à l'Université de Nottingham, a identifié une nouvelle couche de la cornée humaine, la partie transparente autour du globe oculaire. Cette couche - que l'on appellera désormais la couche Dua - se trouve être la sixième strate de la cornée et se situe à l'arrière de l'œil.

Le professeur Dua et son équipe ont pu observer cette nouvelle couche en injectant de l'air entre les strates de cornées et en les observant au microscope électronique. Leurs résultats ont été mis en ligne fin mai sur le site de la revue Ophthalmology.

Cette découverte fait seulement 0,015 millimètre d'épaisseur, mais l'avoir identifiée pourrait simplifier de nombreuses opérations. [4]

Notre mémoire est organisé en quatre principaux chapitres en plus de l'introduction générale et la conclusion finale. Le premier chapitre présente un aperçu général sur la maladie du kératocône en citant les causes, les traitements. Le deuxième chapitre résume l'essentiel des principes de fonctionnement de l'instrument de diagnostic topographie cornéenne référence Orbscan II en plus de la description de notre propre base de données. Le troisième chapitre présent au début un aperçu des techniques intelligentes utilisées pour la détection de la maladie, et le quatrième chapitre concerne la discussion et l'interprétation des résultats, obtenus. Le manuscrit est clôturé par une conclusion générale résumant les idées fondamentales tirées de ce travail tout en présentant quelques perspectives à réaliser dans le futur.

Chapitre I :

Représentation

DU

Kératocône

I.1.Introduction

Le kératocône est une affection qui peut être génétique (du fait qu'on ne connaît pas toutes les causes) grave qui touche l'enfant, l'adolescent et même le jeune adulte. Cette maladie est fréquente en Algérie.

Le Kératocône apparaît habituellement dans les trois premières décennies de la vie et il touche indifféremment les personnes des deux sexes. Selon les statistiques : cette maladie atteint des personnes de différentes origines et les Asiatiques sont les plus touchés de cette maladie. De plus, les femmes sont autant atteintes que les hommes. Le nombre de nouveaux cas diagnostiqués par an est d'environ équivalent à 1/2000 habitants.

Cette affection est habituellement découverte à la puberté (entre 10 et 20 ans), mais il peut survenir à tout âge (82 % des cas débutent toutefois avant 40 ans). [5]

Ces discordances peuvent être expliquées par :

- La variation de l'incidence selon les pays (fréquent au Japon)
- La différence des critères des diagnostiques du kératocône selon les auteurs.
- La différence de la sensibilité des tests de dépistage. [6]

Ce chapitre est réparti comme suit : dans la section deux, nous présentons une partie anatomique de l'œil qui est la cornée du fait que le kératocône est une pathologie qui touche l'œil et plus exactement la cornée. Ensuite dans la section trois nous présentons la définition du kératocône ainsi que les différentes techniques thérapeutiques qui existent. En dernier lieu nous terminons par une conclusion.

I.2. La cornée

I.2.1. Description anatomique :

La cornée est un composant oculaire essentiel au fonctionnement de la vision: elle est la première structure que rencontre la lumière qui pénètre l'œil. Son rôle principal est de faire converger les rayons lumineux incidents qui se dirigent alors vers le cristallin, puis vers la rétine.

Chapitre I: Présentation du kératocône

La cornée est un tissu non vascularisé et transparent, de géométrie courbe (coupole globalement hémisphérique), dont le diamètre vertical est compris entre 10 et 11 mm et le diamètre horizontal compris entre 11 et 12 mm. Le rayon de courbure moyen central de la cornée est de 7.8 mm; vers les bords, ce rayon augmente (la cornée est asphérique). L'épaisseur moyenne de la cornée au centre est proche de 530 microns (il existe des variations interraciales), et le tissu cornéen est plus épais vers son bord (appelé limbe).

La description histologique sommaire de la cornée attribue trois composants principaux à la cornée comme sont présentés dans la figure I.1 : l'épithélium (recouvert du film lacrymal au contact de l'air), le stroma, et l'endothélium (au contact de l'humeur aqueuse qui baigne la chambre antérieure de l'œil).

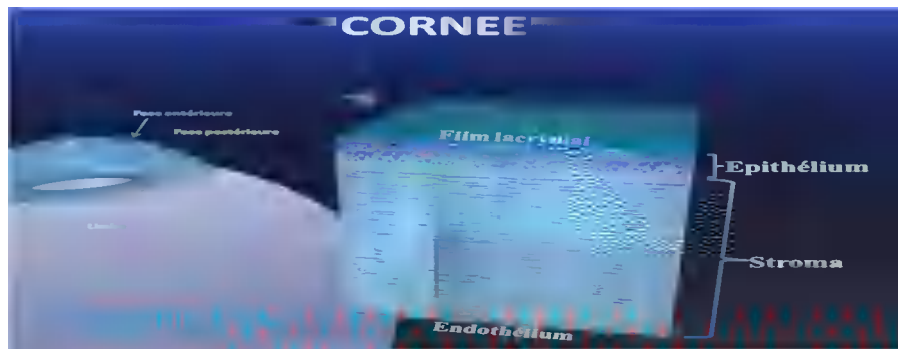


Figure I.1 : Les couches principales de la cornée

L'épaisseur du film lacrymal est négligeable vis à vis de celle de l'épithélium (50 microns au centre environ). Le stroma représente environ 90% de l'épaisseur de la cornée.

La cornée est un tissu naturel remarquable à bien des titres: transparence, résistance, pouvoir optique... Les techniques de chirurgie réfractive cornéenne reposent sur l'interaction d'une lumière laser et le tissu cornéen. L'étude de la géométrie cornéenne et la modélisation mathématique de certaines propriétés sont des étapes incontournables pour l'élaboration de techniques de diagnostic (topographie cornéenne) et de correction chirurgicales efficaces et innovantes (chirurgie laser, greffes, inlays).

L'étude histologique « in vivo » de la cornée, rendue possible grâce à la microscopie convocale, offre un point de vue privilégié et ouvre une fenêtre unique à l'échelle micronique: la transparence de la cornée permet de visiter ses structures à l'échelle de la cellule, afin de mieux comprendre, diagnostiquer et traiter de nombreuses pathologies cornéennes.

Chapitre I: Présentation du kératocône

Ainsi, le degré de précision atteint aujourd'hui par les techniques d'investigation et les outils chirurgicaux mis à la disposition des chirurgiens ophtalmologiste est de l'ordre du micron, et stimule en retour un besoin de rigueur dans l'étude des propriétés de la cornée.

I.2.2. Description fonctionnelle de la cornée :

La cornée assure les 2/3 du pouvoir optique des structures oculaires (le 1/3 restant étant dévolu au cristallin). Ce pouvoir optique important découle de deux caractéristiques: la cornée possède une courbure plus importante que celle du cristallin (non accommodé) et surtout, elle est au contact de l'air ambiant, offrant la plus grande différence d'indice de réfraction aux rayons lumineux incidents. Seulement 4% de la lumière incidente est réfléchiée par la surface cornéenne; cette propriété de réflexion est mise à profit pour la réalisation de l'examen de topographie cornéenne spéculaire.



Figure I.2 : Réflexion par le film lacrymal recouvrant une cornée humaine

La cornée possède la même origine embryologique que le tissu cutané: pour autant, à la différence de la peau, elle est remarquablement transparente. Cette propriété est le fruit de plusieurs caractéristiques: le film lacrymal, qui recouvre la cornée représente une fine couche particulièrement lisse, car constamment renouvelée et répartie à la surface de la cornée par les paupières lors des clignements. L'épithélium cornéen, qui est la structure histologique la plus superficielle de la cornée est une couche de cellules compactes, dont l'indice de réfraction est homogène. Le stroma cornéen qui constitue le composant principal en termes d'épaisseur, est constitué d'un arrangement régulier de fibres de collagènes, au sein desquels sont disposées des cellules fibroblastiques aplaties (kératocytes). La transparence cornéenne est en partie conditionnée par la régularité de la disposition d'éléments plus petits que les longueurs d'onde du spectre visible. L'endothélium est une monocouche de cellules jointives, qui sont chargées de maintenir la cornée dans un état de déshydratation relative; en cas de défaillance de ces cellules (acquise ou congénitale, comme dans la dystrophie de Fuchs), apparaît un œdème dont l'une des conséquences est de réduire la transparence de la cornée (désorganisation de l'architecture cornéenne).

Chapitre I: Présentation du kératocône

La densité en terminaisons nerveuses sensibles est une autre caractéristique remarquable de la cornée: cette innervation est la plus dense des tissus de l'organisme. La cornée est ainsi 100 fois plus sensible que la conjonctive ! Ceci explique la difficulté à tolérer la moindre « poussière » à la surface de la cornée, ce qui complique parfois l'adaptation de certaines lentilles. Heureusement, l'anesthésie de ces terminaisons est possible grâce à de simples gouttes de collyre anesthésique.

Les fibres nerveuses cornéennes proviennent des nerfs ciliaires longs, qui pénètrent la cornée au niveau du limbe dans le stroma profond, puis deviennent de plus en plus superficiels pour former un « réseau » ou « plexus » sous l'épithélium cornéen. Les neurotransmetteurs impliqués dans la sensibilité cornéenne incluent : acétylcholine, catécholamines, substance P, neuropeptide Y, peptide intestinal, etc. [7]

I.3. Les principes de base du kératocône:

I.3.1. Définition :

Le kératocône correspond à une déformation de la cornée (le revêtement transparent de l'iris et de la pupille de l'œil) qui s'amincit progressivement, perd sa forme sphérique normale et prend une forme de cône irrégulier comme le montre la figure suivante (figure I.3). En effet, le mot kératocône, d'origine grecque, signifie «cornée conique».

Cette déformation, survenant souvent vers la fin de l'adolescence, engendre des troubles de la vision (vue brouillée et déformée et mauvaise vision de loin) qui nécessitent le port avec la même sévérité.



Figure I. 3 : Déformation conique de la cornée.

I.3.2. Les cause :

La cornée est la lentille transparente à travers laquelle on perçoit l'iris coloré et la pupille noire centrale. Normalement, la cornée a une forme arrondie régulière (figure I.4). Chez les

Chapitre I: Présentation du kératocône

personnes ayant un kératocône, le centre de la cornée s'amincit et forme une protubérance conique et irrégulière qui perturbe la vision.

On ne connaît pas encore les causes exactes du kératocône, mais il s'agit probablement d'une maladie génétique : même si aucun gène spécifique n'a été identifié, le fait que plusieurs membres d'une même famille puissent être atteints et que la maladie se développe presque systématiquement dans les deux yeux appuie la thèse d'une implication génétique.

Une recherche est actuellement en cours pour identifier le ou les éventuel(s) gène(s) impliqué(s).



Figure I.4 : La cornée est normalement arrondie et régulière.

En plus de la susceptibilité génétique, des facteurs environnementaux sont nécessaires à l'apparition des symptômes cliniques de la maladie. Les contraintes mécaniques (comme le fait de se frotter les yeux ou encore le port de lentilles de contact) pourraient par exemple contribuer à déclencher la maladie. Comme le kératocône apparaît après la puberté, des hormones pourraient aussi être en cause.

En outre, il se trouve que beaucoup de patients souffrant de kératocône ont une prédisposition aux allergies, et développent souvent un eczéma et/ou une conjonctivite allergique.

Il semble donc qu'il existe un lien entre allergie et kératocône dont les mécanismes ne sont pas clairement établis. Par ailleurs, le kératocône survient souvent chez des personnes ayant une autre maladie, génétique ou ophtalmologique, comme par exemple le syndrome de Marfan, la trisomie 21, la rétinite pigmentaire ou l'amaurose congénitale de Leber (maladie familiale grave des yeux). Ainsi, 5 à 6 % des personnes trisomiques présentent un kératocône. On ne sait pas si ces maladies ont des caractéristiques génétiques favorisant la du kératocône, ou si elles sont directement impliquées dans la pathologie

I.3.3 . L'évolution de kératocône :

Le kératocône, souvent découvert à la puberté, évolue généralement jusqu'à l'âge de 30-40 ans avant de se stabiliser. L'évolution est irrégulière, certains kératocônes restant stables

Chapitre I: Présentation du kératocône

pendant quelques années, d'autres s'aggravant puis se stabilisant à nouveau. Les kératocônes peuvent arrêter de progresser à n'importe quel stade.

Les stades d'évolution peuvent être classés selon différents critères, comme le montre le tableau I.1- suivant :

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 I.1 : les différents stades d'évolution de kératocône

Dans de rares cas (moins de 3 %), une complication particulière, le kératocône aigu (hydrops), peut survenir. L'amincissement de la cornée est tel que la membrane transparente et élastique qui recouvre la surface interne de la cornée (endothélium) se perforé. Cette rupture provoque une perte brutale de l'acuité visuelle en opacifiant la cornée (tache blanche visible correspondant à d'importantes cicatrices cornéennes). Un traitement visant à faire baisser la pression du liquide à l'intérieur de l'œil et à réduire l'inflammation peut être envisagé, mais seule une greffe de cornée (voir plus loin) peut permettre de restaurer la vue après un kératocône aigu.

I.3.4. Moyens thérapeutiques :

D'après nos discussions avec les médecins ophtalmologistes, ainsi que nos recherches, nous avons constaté qu'il existe plusieurs moyens thérapeutiques on va les montrer suivant l'évolution de la maladie kératocône.

I.3.4. 1. Les lunettes :

C'est le premier équipement optique proposé pour les formes débutantes dont l'astigmatisme Myopique n'est pas trop important, asymétrique et irrégulier

I.3.4. 2. Les lentilles de contact :

C'est l'arme de choix pour la majorité des patients atteints de kératocônes. La correction visuelle du patient porteur d'un kératocône est dominée par le port de lentilles de contact lors des trois premiers stades de l'affection. L'adaptation est cependant délicate voire impossible dans certains cas. Il vaut mieux demander à voir un spécialiste de l'adaptation en lentilles (contactologue) et si possible en lentilles pour kératocône.

L'avantage de la lentille de contact par rapport aux lunettes est lié à l'interface qu'elle crée avec le film lacrymal. Cette dernière permet de gommer une grande partie des irrégularités de la cornée. Les lentilles rigides comme le montre la figure suivante (figure I.5) sont beaucoup plus efficace mais plus complexes à adapter. Parfois afin de stabiliser la lentille sur le cône, il est utile de superposer une lentille rigide par dessus une lentille souple (Système Piggyback). Lorsque la lentille n'est pas ou plus tolérée, il est licite de proposer une alternative chirurgicale



Figure I.5 : lentille de contact rigide

Le choix de la lentille :

Il existe des outils intelligents développés par le fabricant de lentilles par exemple le logiciel **easyfit** ; son rôle est de déterminer le choix de la lentille qu'il est directement lié au stade évolutif de la maladie et au bombement cornéen mesuré.

Dans les kératocônes débutants la géométrie de la lentille est standardisée de type sphéro-asphérique. Dans le cas d'un kératocône à aplatissement rapide on utilise des lentilles sphéro-asphériques à fort dégagement. Le diamètre utilisé en général est de 9,60 mm.

Dans les kératocônes modérés, les lentilles sphéro-asphériques ne peuvent plus convenir, car elles s'alignent de façon trop importante sur la périphérie cornéenne et vont entraîner un appui péjoratif sur le sommet du cône. Les lentilles sphériques de type tri-courbes permettent de répartir les zones d'appui en évitant une pression excessive sur l'apex. Leur diamètre sera choisi en fonction de l'importance du décentrement du cône visible en élévation postérieure

Chapitre I: Présentation du kératocône

(Orbscan). Le diamètre utilisé est en général de 8,50 à 9 mm et dans les formes les plus décentrés on optera pour un diamètre $> 9,30$ mm. Cependant, lorsque les pentes du kératocône sont fortes, les dégagements périphériques peuvent être insuffisant, et des géométries tri-courbes « spéciales kératocône » permettront un meilleur passage des larmes en périphérie. Une absence de dégagement assez large est source d'un moindre confort et majore le risque d'un ventousage en fin de journée (adhérence de la lentille sur la cornée).

Plus les kératocônes sont évolués plus le nombre de dégagements des lentilles sphériques augmentent et plus ceux-ci s'aplatissent rapidement. Il devient impossible d'équiper des formes évoluées ou sévères avec des lentilles qui ne sont pas « spéciales kératocônes ». L'importance du décentrement d'un kératocône conduit également à utiliser, à ces stades évolués, des lentilles de plus grand diamètre pouvant atteindre 11 mm.

I.3.4. 3. Les implants toriques

Dans de rares cas, si la cornée centrale est claire, lorsque l'astigmatisme est stable et pas trop irrégulier mais qu'il est trop important pour être corrigé en lunette ou lentilles, il est possible de proposer un implant intra-oculaire correcteur. Cet implant est torique comme illustré dans la figure suivant (figure I.6) pour corriger l'astigmatisme, il est clipé par le chirurgien à l'iris, à bonne distance de la face postérieure de la cornée. Bien que potentiellement utiles, ces implants sont encore rarement posés mais pourraient à l'avenir prendre une place plus codifiée dans la prise en charge de la maladie.

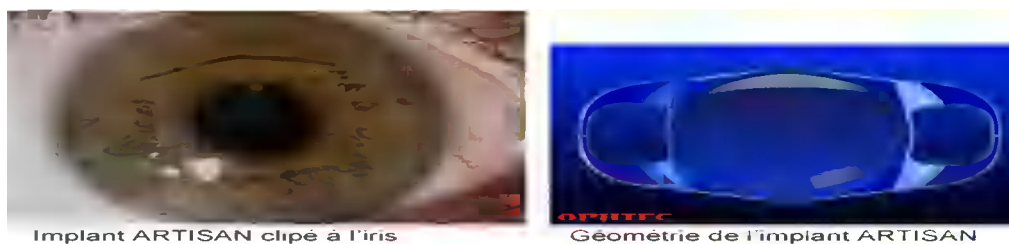


Figure I.6: Les implants toriques

I.3.4. 4. Les anneaux intra-cornéens :

Les anneaux intra-cornéens sont des petits segments d'anneau semi-circulaires rigides en PMMA (plastique). Leur place dans la prise en charge thérapeutique se situe entre l'échec de l'adaptation en lentille et le recours à la greffe de cornée. Ils sont posés pour le kératocône depuis 1997.

Chapitre I: Présentation du kératocône

Introduits dans l'épaisseur même de la cornée, les anneaux intra-cornéens ont pour vocation de la renforcer. Bien positionnés, ils permettent de retendre la cornée centrale figure(I.7). L'importance et l'irrégularité de l'astigmatisme cornéen sont ainsi diminuées. Deux modèles sont commercialisés : les INTACS (KeraVison, USA) et les anneaux de Ferrara (Mediphacos, Brésil).



FigureI. 7 : Les différents anneaux intra-cornéens

Une paire d'anneaux est généralement placée en moyenne périphérie de la cornée. Le centre de la cornée est donc totalement préservé. Leur épaisseur est environ égale à la moitié de l'épaisseur cornéenne normale. Ils sont introduits lors d'une courte intervention chirurgicale. Une petite incision de 2 mm est réalisée au point d'entrée des anneaux puis deux canaux sont disséqués au trois quarts de la profondeur de la cornée avec soit un instrument mécanique calibré soit à l'aide du laser femto seconde. Les anneaux sont mis en place très simplement dans les canaux préalablement disséqués. L'intervention est par ailleurs considérée comme réversible. La position des anneaux est importante : posés trop profondément ils sont d'introduction dangereuse, posés trop superficiellement ils sont peu efficaces.

Le résultat est en général bon si l'indication est bien posée. La prédictibilité est cependant moyenne car chaque patient présente un cas de figure différent. Ce résultat ne s'évalue véritablement que 6 mois après l'intervention car la cornée kératocônique mise en tension par les anneaux met longtemps à se stabiliser. Ensuite, soit le résultat est compatible avec une adaptation en lunette ou lentille satisfaisante, soit le résultat est insuffisant et les anneaux seront simplement retirés en même temps que sera réalisée une greffe de cornée.

Certaines contre-indications sont à connaître :

- ✓ Cicatrice dans la zone centrale de la cornée.
- ✓ Épaisseur cornéenne de la moyenne périphérie insuffisante (< 450 microns).
- ✓ Kératométrie moyenne centrale excessive (> 55 Dioptries) = cornée trop bombée.

Chapitre I: Présentation du kératocône

Depuis près de 10 ans de développement, seules quelques rares complications ont été décrites: invasion épithéliale, infection, extrusion des anneaux, perforation cornéenne.

L'utilisation judicieuse des anneaux intra-cornéens est utile à un stade avancé de kératocône, elle permet souvent de retarder l'heure de la greffe de cornée.

Le choix des anneaux :

Il existe actuellement plusieurs types d'anneaux intra-cornéens, variable par leur diamètre, leur épaisseur et leur longueur angulaire.

Les principaux anneaux actuellement disponibles sur le marché sont les INTACS qui sont des anneaux de grand diamètre et les anneaux de FERRARA (Keraring). Ces derniers sont disponibles en 5 et 6 mm de diamètre avec une épaisseur variant de 0,15 à 0,35 mm. Leur longueur angulaire varie de 90° à 270° selon les modèles figure (I.8).

Un logiciel existe pour les deux types d'anneaux ; il montre dans quelle position les anneaux doivent être placés, leurs tailles de même que leurs épaisseurs dont Le choix des anneaux dépendent principalement de la topographie cornéenne ainsi que de la myopie et de l'astigmatisme.

C'est après avoir vu le patient en consultation spécialisée et réalisé tous les examens nécessaires que chirurgien pourra décider s'il y a ou non une indication d'anneaux intra-cornéens et choisir précisément les anneaux qui conviennent le mieux pour un kératocône donné.



Figure I.8 : types d'anneaux intra-cornéens

Les suites opératoires :

Une visite rapide sera effectuée le lendemain de l'opération par le chirurgien. Il est possible qu'à ce stade, la vision soit améliorée, mais le résultat visuel ne sera évalué que 1 mois après l'intervention par la réalisation d'examens complémentaires appropriés (topographie cornéenne, mesures précises de la vision).

Le résultat visuel définitif peut mettre parfois plusieurs semaines ou plusieurs mois à se stabiliser. Une petite prescription de lunettes sera sans doute nécessaire après l'intervention,

Chapitre I: Présentation du kératocône

mais il est préférable d'attendre 1 mois après la pose des anneaux avant de la prescrire. Fréquemment, le patient pourra reporter des lentilles de contact après la pose des anneaux. Outre la pose des anneaux, la prise en charge du kératocône peut comporter d'autres interventions. Il pourra par exemple être nécessaire de réaliser un cross-linking pour stabiliser l'évolution d'un kératocône évolutif ou de poser un implant intraoculaire pour corriger une forte myopie associée. Ces temps opératoires, lorsqu'ils sont nécessaires, sont le plus souvent dissociés les uns des autres. La prise en charge du kératocône nécessite que l'on procède étape par étape

I.3.4. 5. La Technique cross-linking

Cette technique (figure I.9) ; pratiquée depuis plusieurs années, est simple mais nécessite l'usage d'un bloc opératoire pour une durée d'environ 1 heure 15 minutes.

Elle consiste, après désinfection locale et sous anesthésie topique, en une désépithélialisation cornéenne mécanique, suivie d'une imprégnation du stroma cornéen par de la vitamine B2 (riboflavine) pendant 30 minutes et d'une irradiation par rayonnement UVA de 3 mW/cm² pendant 30 minutes

Une antibiothérapie topique préventive et la pose d'une lentille thérapeutique sont réalisées en fin d'intervention. Les résultats des études concordantes ont montré l'efficacité de cette procédure dans environ 95 % des cas.



Figure I. 9 : technique cross-linking

L'évolution postopératoire habituelle :

En postopératoire le patient peut ressentir une gêne oculaire superficielle pendant quelques jours L'acuité visuelle met en général plusieurs semaines à s'améliorer. Une baisse de vision transitoire est classiquement retrouvée le premier mois puis la vision retrouve son niveau initial progressivement, dans la très grande majorité des cas. Après le traitement CXL, l'acuité

Chapitre I: Présentation du kératocône

visuelle des patients peut être améliorée par le port de lunettes ou de nouvelles lentilles qui sont souvent mieux tolérées. Une surveillance systématique régulière est indispensable sur plusieurs mois.

Les complications :

Les complications pouvant survenir sont rares :

- Infection cornéenne durant la phase de cicatrisation.
- Cicatrisation inhabituelle et excessive, générant une opacité centrale, pouvant nécessiter la réalisation d'une greffe de cornée.
- Efficacité insuffisante.

I.3.4. 6. La greffe de cornée :

Le principe de la greffe de cornée est simple. Il s'agit d'échanger la partie centrale de la cornée malade par la même partie de la cornée saine d'un donneur décédé. Le prélèvement, la conservation et la délivrance des greffons sont très strictement codifiés. La greffe de cornée est un geste chirurgical à présent bien maîtrisé. Les kératocônes représentent environ 1/3 des indications de greffes de cornées. Seuls les patients dont l'acuité visuelle est insuffisante avec des lentilles de contact sont inscrits sur la liste d'attente pour un greffon cornéen. . [8]

I.4. Conclusion

Nous avons vu dans ce chapitre une maladie connue sous le nom du kératocône, et ces stades d'évolution, de plus ces différents traitements ainsi que les complications dues à cette maladie. Même s'il existe des méthodes de prévention qui permettent de réduire le risque d'avoir le kératocône aigu, parfois il est impossible de l'éviter comme pour le kératocône de stade IV. Dans ces cas là, la seule solution est de faire la greffe de la cornée très tôt et de faire tout son possible pour combattre les complications.

Chapitre II :

Topographie

Cornéenne

&

La base de

Donnée

II.1 Introduction :

La mesure du relief, de la courbure, et de l'épaisseur de la cornée sont des étapes cruciales dans le diagnostic des maladies cornéennes et la mise au point de méthodes de correction de la vision. Une nouvelle méthode d'examen de la topographie cornéenne d'élévation (Orbscan) tend actuellement à s'imposer comme la référence clinique car la cornée est un organe unique dont la fonction dépend étroitement de la forme ; une variation de l'ordre du micron peut modifier ses propriétés optiques de manière significative. [9]

D'autre part nous avons essayé d'appliquer des modèles dits intelligents pour la classification de ces types de données mais à cause de l'indisponibilité d'une base de données standard nous avons collecté et nous avons constitué notre propre Base De Données (BDD) au niveau d'une clinique spécialisé en ophtalmologie dans l'ouest algérien.

Nous présentons dans ce chapitre une partie de la topographie cornéenne. Ensuite nous présentons notre propre base de données (BDD). En dernier lieu nous terminons par une conclusion.

II.2 Définition la topographie cornéenne « Orbscan » :

Topographie est un terme de Géographie qui vient du grec « topos » (le lieu) et « graphein » (décrire). La topographie cornéenne correspond à la représentation graphique de certaines propriétés géométriques de la surface cornéenne. Elle mesure la forme exacte des faces

« Avant » (antérieure) et « arrière » (postérieure) de la cornée en micron par rapport à une sphère de référence.

Ceci est particulièrement utile car la déformation de la face postérieure de la cornée (non analysée par la topographie de courbure) apparaît probablement avant celle de la face antérieure. La topographie Orbscan figure(II.1) permettrait donc un diagnostic du kératocône à un stade plus précoce.



Figure II.1 : La topographie Orbscan

II.3 Principes de fonctionnement :

Il réalise un balayage optique grâce à des fentes lumineuses qui « scannent » la cornée, ce qui permet de reconstruire tri dimensionnellement le volume cornéen, et d'étudier les variations du relief cornéen non seulement antérieur mais également postérieur (l'appareil permet de réaliser des cartes d'élévation de la face antérieure et postérieure de la cornée)

Le fonctionnement des topographes cornéens comme le montre la figure suivante (figure II.2) repose sur certains principes qui ont en commun la projection d'une image de référence sur la cornée et l'analyse de son reflet. L'analyse de la réflexion d'une mire faite de cercles concentriques sur la cornée est certainement la méthode la plus ancienne et documentée. Cette mire, constituée d'anneaux concentriques noirs et blancs, fut inventée par l'ophtalmologiste portugais Antonio Placido en 1880. Elle est aujourd'hui située sur une coupole hémisphérique située à l'avant de l'instrument. Lors de la mesure, cette mire est éclairée et son image est projetée sur la cornée, alors que le patient en fixe un point situé au centre. Une caméra vidéo interprète l'image qui est alors transmise à un logiciel chargé de calculer les différents points d'élévation de la cornée et de mettre en évidence son apex (sommet ou points le plus élevé). Certaines machines en calculent jusqu'à 25.000 sur une cornée. L'intérêt est à la fois diagnostique et thérapeutique. [9]

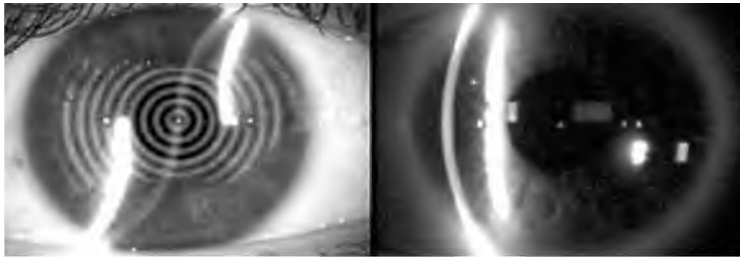


Figure II.2 : Principe de l'Orbscan

II.4 Explication des cartes de topographie cornéenne :

Quelles que soient les informations recueillies en topographie cornéenne, elles sont rendues sous formes de multiples **cartes**. Il existe des cartes de courbure, de puissance, d'élévation et même de pachymétrie (L'orbscan).

La figure suivante (figure II.3) montre ces différentes cartes :

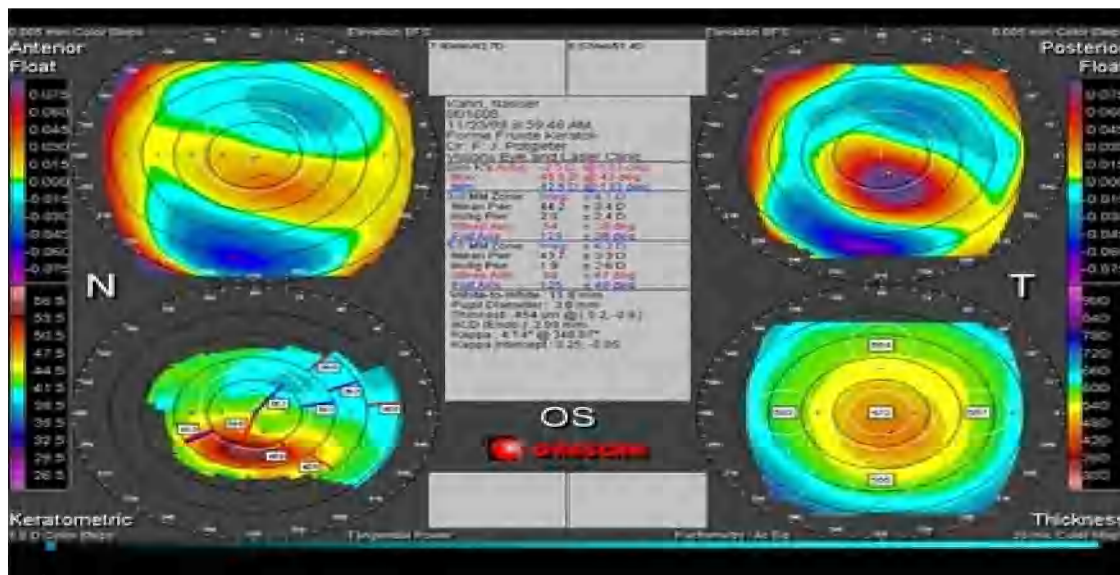


Figure II.3 : les cartes de topographie cornéenne

II.4.1 Les cartes de courbure :

- ✓ les couleurs chaudes (rouge, orange, jaune, violet) traduisent ce qui est bombé.
- ✓ les couleurs froides (bleu ciel, jusqu'au vert) traduisent ce qui plat
- ✓ Le vert utilisé pour les valeurs moyenne

Chapitre II : la topographie cornéenne et la base des Données

II.4.2 La pachymétrie :

Elle consiste en l'évaluation de l'épaisseur de la cornée notée en microns (un micron = un millième de millimètre). Pour information, une cornée normale mesure environ 12 mm de diamètre, sa pachymétrie est de 520 microns (un demi-millimètre) au centre et d'environ 700 microns en périphérie.

Pour un kératocône évolué, il n'est pas rare de retrouver moins de 400 microns au centre. Le point d'amincissement le plus important n'est pas obligatoirement au centre de la cornée mais en général déporté à la pointe du cône qui le plus souvent est retrouvée en position nasale et inférieure. [10]

II.5 Description de la base de données :

Comme nous avons défini dans le premier chapitre que la maladie kératocône correspond à une déformation de la cornée vers l'avant. Nous mentionnons que des ophtalmologues nous ont aidés à expliquer le sens médical de différentes caractéristiques des données collectées au sein de notre BDD. Nous rappelons que Les sujets collectés dans notre BDD ont été sélectionnés de la Clinique Lazouni de Tlemcen à l'ouest d'ALGERIE.

La base de données BDD est constituée de 271 patients : 120 femmes et 151 hommes dont l'âge varie entre 14 ans et 55ans. Pour chaque patient nous avons pris les paramètres de l'œil gauche et l'œil droite c'est-à-dire 542 cas à traiter dont 269 sont kératocône et 273 non kératocône.

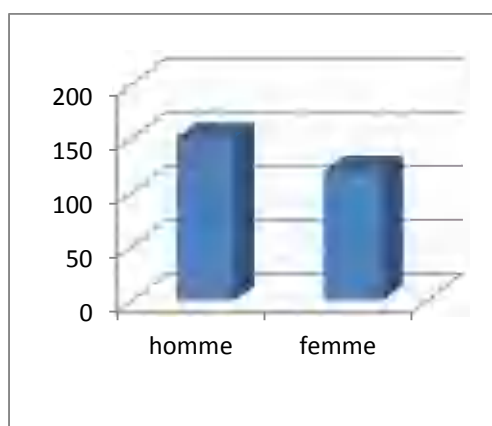


Figure II.4 : histogramme de sexe

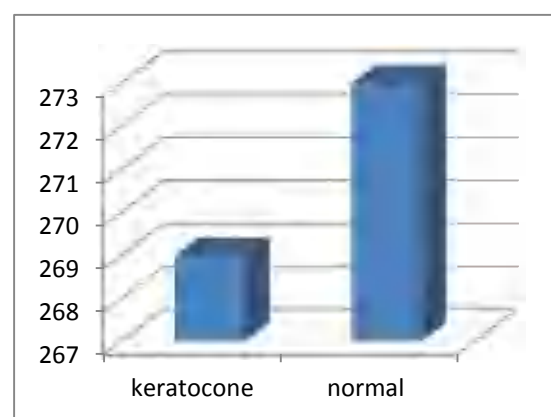


Figure II.5 : histogramme de la classe

Chapitre II : la topographie cornéenne et la base des Données

Chaque cas est formé de 12 attributs, dont les 11 attributs sont les attributs de détection et le 12^{ème} représente la classe du patient. Le tableau (II.1) présente une description de ces attributs:

Couleur	La couleur correspond à un rayon de courbure c'est-à-dire elle correspond à une puissance. Quand il y a beaucoup de couleurs dans une petite surface dans une image topographique (3 jusqu'à 5 mm) cela veut dire qu'il existe des irrégularités cornéennes.
Symétrie	Du fait que la forme de la cornée étant asphérique et régulière cela implique qu'on doit avoir une image presque en miroir. Dans le cas du kératocône il n'y a pas de symétrie
Axe	C'est la même chose que la symétrie (on appelle ça les hémisphères). Dans le cas normal les axes sont alignés c'est-à-dire symétrique par contre dans un cas de kératocône les axes ne sont pas alignés.
Point le plus fin	Dans le kératocône, il existe un amincissement cornéen par contre dans le cas normal la cornée est fine au centre et s'épaissit vers la périphérie. Dans le kératocône le point le plus fin est situé au sommet du cône qui est en générale en temporal inférieur.
La pachymétrie	La <i>pachymétrie</i> permet la mesure précise de l'épaisseur de la cornée. Elle se mesure en micron. En Algérie la moyenne de la pachymétrie est au tour de 400 microns alors que la moyenne européenne est de 550 microns. Lorsque la pachymétrie d'un patient est inférieur à 470 microns un kératocône est suspect.
<u>Rayon sphère antérieure</u> Rayon sphère postérieure	Ce rapport est utilisé pour voir la meilleure sphère possible on l'appelle aussi (best fit sphere). Quand ce rapport est : • < 1.25 cas normal • Entre 1.25 et 1.27 cas suspect • >1.27 cas très suspect
TR	Le diamètre de rayon de courbure

Tableau II.1 : des paramètres de la base de données

Chapitre II : la topographie cornéenne et la base des Données

II.5.1 Statistique de la base de données :

Dans cette partie nous avons calculé la moyenne et le maximum et le minimum de chaque attribut pour les deux classe kératocône et normal (non kératocône). Les statistiques sont présentées dans les tableaux II. 2 et II.3:

Moyenne d'Age	Homme	40 ans		
	Femme	33 ans		
nom d'attribut		Moy	min	max
les couleurs de courbe anterior	3mm	3.17	1	6
	5mm	3.60	3	6
les couleurs de courbe posterior	3mm	4.96	1	6
	5mm	5.42	3	7
Symétrie		3.08	0	9.9
Axe		2.12	0	5.5
Point le plus fin		447.2	298	567
La pachymétrie		484.96	306	758
rapport (post/INT)		1.22	1.18	1.27
TR	3mm	3.61	1.1	8.4
	5mm	4.37	1.8	9

Tableau II.2 : statistiques de la classe kératocône

Moyenne d'Age	Homme	47 ans		
	Femme	38 ans		
nom d'attribut		moy	min	max
les couleurs de courbe anterior	3mm	1.91	0	3
	5mm	2.98	2	4
les couleurs de courbe posterior	3mm	2.22	1	4
	5mm	3.13	3	6
Symétrie		0.36	0	2.5
Axe		0.33	0	2.2
Point le plus fin		520.37	299	851
La pachymétrie		527.49	320	633
rapport (post/INT)		1.22	1.16	1.32
TR	3mm	1.15	0.1	2.8
	5mm	1.54	0.4	5

Tableau II.3 : statistiques de la classe normal

II.6 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté l'un des meilleurs et les plus récents instruments de détection de la maladie kératocône, il s'agit de la topographie cornéenne de référence « Orbscan », nous avons présenté le principe de fonctionnement et la signification de différentes courbures de la topographie d'autre part nous avons présenté notre propre base de données BDD contenant les différents attributs déjà discutés avec les spécialistes, sachant qu'il s'agit d'une BDD locale. Nous souhaitons que cette nouvelle base constituera un pas vers le renforcement du diagnostic médical en ophtalmologie.

Chapitre III :
Notion sur
Les techniques
Intelligentes
Utilisée

III.1 Introduction :

Généralement, un système de reconnaissance est construit à partir des informations a priori concernant un problème spécifique. Le fait de classer un objet correspond donc à prendre une décision sur base d'une ou plusieurs règles (implicites ou explicites). Dès lors, une des premières approches pour automatiser le traitement, fut d'extraire la connaissance experte de spécialistes sous forme de règles. Ainsi, pour chaque catégorie, on disposait d'un ensemble de règles permettant de déterminer l'appartenance d'un objet à dite catégorie (ou classe). Bien que cette façon ait été largement utilisée jusqu'à la fin des années 80, on en conçoit aisément les limites. En effet, quand le nombre d'exemples et de classes est très important, il devient difficile de rassembler toutes les connaissances expertes nécessaires aux prises de décision. Dans les années 90, l'approche **Machine Learning (ML)** ou apprentissage artificiel devient très sollicité. Il s'agit d'apprendre automatiquement les règles de décision sur base d'un ensemble d'exemples déjà classés.

L'apprentissage artificiel inclut entre autres les méthodes supervisées et non supervisées. Dans les techniques non-supervisées, les objets sont présentés sans leurs catégories. Un exemple type de méthodes non-supervisées est le clustering dont le but est de créer des groupes (clusters) d'objets présentant des caractéristiques semblables. Dans le cas des méthodes supervisées, on cherche à estimer une fonction $f(x)$ à partir des exemples x .

Parmi les méthodes qui ont été développées dans ce contexte (apprentissage artificiel), nous distinguons par exemple les réseaux de neurones et les machines à vecteurs du support (SVM :Support Vector Machines, en anglais), K-nn et l'arbre de décision C4.5.

III.2 L'Apprentissage :

Dans tout système qu'il soit humain, physique, biologique ou économique, l'apprentissage est une activité essentielle à la base même de toute évolution. C'est un processus calculatoire qui doit être capable d'amener à une certaine prédiction et à une certaine généralisation, son but est de découvrir les règles qui gouvernent et régissent des formes.

On peut distinguer trois types d'apprentissages : l'apprentissage "supervisée", "non supervisée" et "semi-supervisée" mais dans notre cas on intéresse de l'apprentissage supervisée.

III.2.1 L'apprentissage supervisé :

Dans cette catégorie d'apprentissage, nous avons une notion de valeurs ciblées, dénie par les états d'une variable particulière, appelée "variable endogène", fixée a priori .L'objectif est alors de mettre au point un processus permettant de calculer des valeurs de la variable endogène de façon automatique à partir d'autre informations. Quand la variable endogène est discrète, c.à.d. qu'elle prend un nombre restreint de valeurs, on parle alors de classe. D'où le travail d'apprentissage consiste à analyser les ressemblances entre les formes d'une même classe et les dissemblances entre les formes de classes différentes pour en déduire les meilleures séparations possibles entre les classes.

III.3 Les réseaux de neurones :

Un réseau de neurone artificiel (figure III .1) est un système de traitement de l'information qui a certaines caractéristiques en commun avec les réseaux de neurones biologiques. La première modélisation d'un neurone découle des résultats des travaux de Mac Culloch et Pitts.

Les réseaux de neurones artificiels ont été développés comme des généralisations des modèles mathématiques de la cognition humaine ou de la biologie des neurones en se basant sur les hypothèses suivantes :

- Traitement des informations se fait dans des éléments simples appelés neurones.
- Les signaux sont transmis entre les neurones par des liaisons de connexion.
- Chaque liaison de connexion à un poids associé.
- Chaque neurone applique une fonction d'activation à son entrée pour déterminer son signal de sortie.

Les RNs ont la capacité de stocker la connaissance empirique et de la rendre disponible à l'usage. Les habiletés de traitement (et donc la connaissance) du réseau vont être entreposées dans les poids synaptiques, obtenus par des processus d'adaptation ou d'apprentissage .En ce sens, les RNs ressemblent donc au cerveau car non seulement, la connaissance est acquise au travers d'un apprentissage mais en plus stockée dans les connexions entre les entités (poids synaptiques). [10]

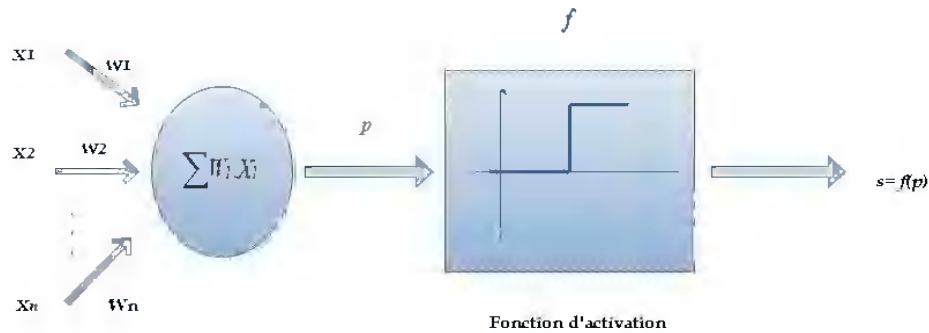


Figure III.1 : Neurone artificiel

III.3. 1 Architecture des Réseaux de Neurones :

On distingue deux types de réseaux de neurones : le réseau de neurones monocouche et multicouche

Le Perceptron Monocouche

C'est l'un des premiers réseaux de neurones, conçu en 1958 par Rosenblatt. Il est linéaire et muni d'une seule couche. Il est inspiré du système visuel. La première couche (d'entrée) représente la rétine. Les neurones de la couche suivante sont les cellules d'association, et la couche finale les cellules de décision. Les sorties des neurones ne peuvent prendre que deux états (-1 et 1 ou 0 et 1). Seuls les poids des liaisons entre la couche d'association et la couche finale peuvent être modifiés. La règle de modification des poids utilisée est la règle de Widrow-Ho: si la sortie (celle d'une cellule de décision) est égale à la sortie désirée, le poids de la connexion entre ce neurone et le neurone d'association qui lui est connectée n'est pas modifié. Dans le cas contraire le poids est modifié en fonction de l'entrée [11]:

$$W_i \leq W_i + k (d - s)$$

Avec:

- k : constante positive
- s : sortie
- d : sortie désirée

En 1969, Papert et Minsky (un des pères des systèmes experts) démontrent les limites du perceptron classique, incapable, par exemple de simuler la fonction ou exclusif (Xor)[12].

Chapitre III: Notions sur les techniques intelligentes utilisées

Les Perceptrons Multicouches (PMC) :

Le perceptron multicouche (figure III .2) est sans doute le plus simple et le plus connu des réseaux de neurones. La structure est relativement simple : une couche d'entrée, une couche de sortie et une ou plusieurs couches cachées.

Chaque neurone n'est relié qu'aux neurones des couches précédentes, mais à tous les neurones de la couche précédente.

Les PMCs sont une amélioration du perceptron monocouche comprenant une ou plusieurs couches intermédiaires dites couches cachées. Ils utilisent, pour modifier leurs poids, un algorithme de rétro-propagation du gradient, qui est une généralisation de la règle de Widrow-Ho [11]. Il s'agit toujours de minimiser l'erreur quadratique, ce qui est assez simple quand on utilise une fonction f dérivable (la sigmoïde par exemple). On propage la modification des poids de la couche de sortie jusqu'à la couche d'entrée.

Les PMC agissent comme un séparateur non linéaire et peuvent être utilisés pour la classification, le traitement de l'image ou l'aide à la décision.

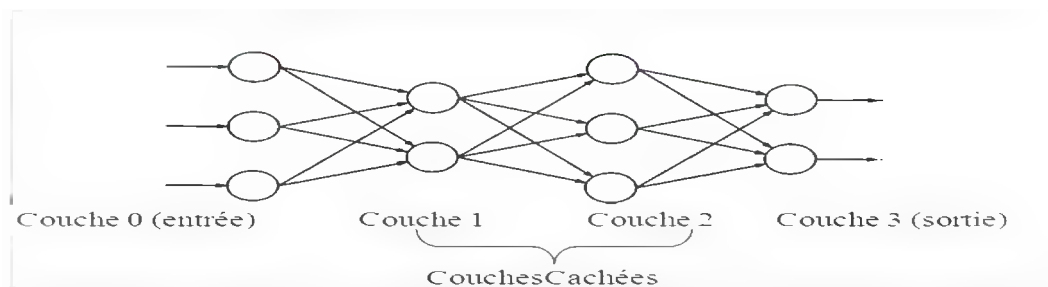


Figure III .2 : Réseau de neurones multicouches

- Les nœuds d'entrée :

La première couche est appelée couche d'entrée. Elle recevra les données source que l'on veut utiliser pour l'analyse. Dans le cas de l'aide au diagnostic médical, cette couche recevra les caractéristiques des symptômes. Sa taille est donc directement déterminée par le nombre de variables d'entrées.

- Les nœuds cachés :

La seconde couche est une couche cachée, en ce sens qu'elle n'a qu'une utilité essentielle pour le réseau de neurones et n'a pas de contact direct avec l'extérieur. Les fonctions d'activations sont en général non linéaires sur cette couche mais il n'y a pas de règle à respecter. Le choix

Chapitre III: Notions sur les techniques intelligentes utilisées

de sa taille n'est pas implicite et doit être ajustée. En général, on peut commencer par une taille moyenne des couches d'entrée et de sortie mais ce n'est pas toujours le meilleur choix. Il sera souvent préférable pour obtenir de bons résultats, d'essayer le plus de tailles possibles.

-Les nœuds de sortie :

La troisième couche est appelée couche de sortie. Elle donne le résultat obtenu après traitement des données d'entrée de la première couche. Dans le cas de l'aide au diagnostic médical, cette couche donne le diagnostic. Sa taille est directement déterminée par le nombre de classe ou de types de maladies.

Un nœud reçoit des valeurs en entrée et renvoie 0 à n valeurs en sortie. Toutes ces valeurs sont normalisées pour être comprises entre 0 et 1 (ou parfois entre -1 et 1, selon les bornes de la fonction de transfert).

Une fonction de combinaison calcule une première valeur à partir des nœuds connectés en entrée et du poids des connexions [Ainsi, dans les réseaux les plus courants, les perceptrons en général, il s'agit de la somme pondérée $\sum_i n_i p_i$ des valeurs n_i des nœuds d'entrée. Afin de déterminer une valeur à sa sortie une seconde fonction, appelée fonction d'activation est appliquée à cette valeur. Les nœuds de la couche d'entrée sont triviaux, dans la mesure où ils ne combinent rien, et ne font que transmettre la valeur de la variable qui leur correspond et leurs sorties seront injectées dans l'entrée des neurones de la couche suivante. **[13]**

III.4 Machine à Vecteurs de Support ou Séparateur à Vaste Marge (SVM) :

Les réseaux de neurones éprouvent de grandes difficultés à traiter les données de très haute dimension, de plus, ils possèdent un grand nombre de paramètres d'apprentissage à fixer par l'utilisateur. Pour surmonter ce problème, on procède souvent par la sélection d'une partie des attributs des données pour réduire la dimension de l'espace d'entrée. Mais dans ce cas, on aura besoin d'utiliser des hypothèses simplificatrices qui ne se vérifient pas toujours en pratique.

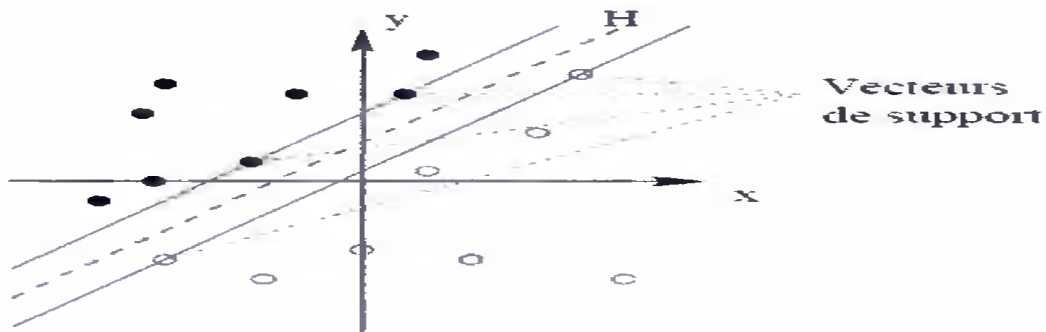
Par ailleurs, une méthode issue récemment d'une formulation de la théorie de l'apprentissage statistique appelée *Support Vector Machines* ou machines à vecteurs de support. L'avantage principale provient du fait qu'il y a peu de paramètres à régler comparativement aux réseaux de neurones. Elle laisse très peu de place aux paramètres utilisateurs, bien que récemment proposée elle a fait l'objet d'un nombre important de publications.

III.4.1 Définition :

Les machines à vecteurs support ont été introduites en 1995 par Cortes et Vapnik [Cortes et Vapnik, 1995, Bottou et Chih-Jen, 2007]. Elles sont utilisées dans de nombreux problèmes d'apprentissage : reconnaissance de forme, catégorisation de texte ou encore diagnostic médical.

Les SVM reposent sur deux notions : celle de marge maximale et celle de fonction noyau. Elles permettent de résoudre des problèmes de discrimination non linéaire. Nous allons voir comment un problème de classification se ramène à résoudre un problème d'optimisation quadratique.

-La marge est la distance entre la frontière de séparation et les échantillons les plus proches appelés vecteurs support. Dans un problème linéairement séparable les SVM trouvent une séparatrice qui maximise cette marge. Dans le cas d'un problème non linéaire on utilise une fonction noyau pour projeter les données dans un espace de plus grande dimension où elles seront linéairement séparables. [14]



III.4.2 Principe de fonctionnement :

La tâche, qu'un classifieur doit effectuer, est exprimée par une fonction appelée fonction de décision reliant les exemples à classifier x (appelés espace d'entrée) à leur classes y (appelées espace de sortie). $H(x)$ correspond souvent à $\{-1, +1\}$.

Pour rappel, le cas simple est le cas d'une fonction discriminante linéaire, obtenue par combinaison linéaire du vecteur d'entrée $x = (x_1, \dots, x_N)^T$, avec un vecteur de poids $w = (w_1, \dots, w_N)$:

Chapitre III: Notions sur les techniques intelligentes utilisées

$$h(x) = w^T x + w_0$$

Il est alors décidé que x est de classe 1 si $h(x) \geq 0$ et de classe -1 sinon. C'est un classifieur linéaire.

La frontière de décision $h(x) = 0$ est un hyperplan, appelé *hyperplan séparateur*, ou *séparatrice*. Rappelons que le but d'un algorithme d'apprentissage supervisé est d'apprendre la fonction $h(x)$ par le biais d'un ensemble d'apprentissage :

$$\{(x_1, l_1), (x_2, l_2), \dots, (x_p, l_p)\} \subset \mathbb{R}^N \times \{-1, 1\}$$

Où les l_k sont les labels, p est la taille de l'ensemble d'apprentissage, N la dimension des vecteurs d'entrée. Si le problème est linéairement séparable, on doit alors avoir :

$$l_k h(x_k) \geq 0 \quad 1 \leq k \leq p, \quad \text{autrement dit} \quad l_k (w^T x_k + w_0) \geq 0 \quad 1 \leq k \leq p.$$

L'objectif des *SVMs* est de trouver un hyperplan permettant de séparer les données d'apprentissage de sorte que tous les points d'une même classe soient d'un même côté de l'hyperplan. Deux cas peuvent se présenter [15]

Exemple d'un problème de discrimination à deux classes, avec un séparateur linéaire : la droite d'équation $y=x$. Le problème est **linéairement séparable** présenté dans la figure suivante :

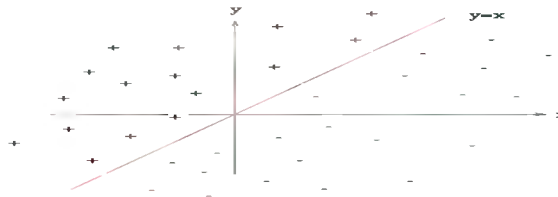


Figure III.3 : Données linéairement séparables.

Exemple d'un problème de discrimination à deux classes, avec un séparateur non-linéaire : le cercle unité. Le problème **n'est pas linéairement séparable**.

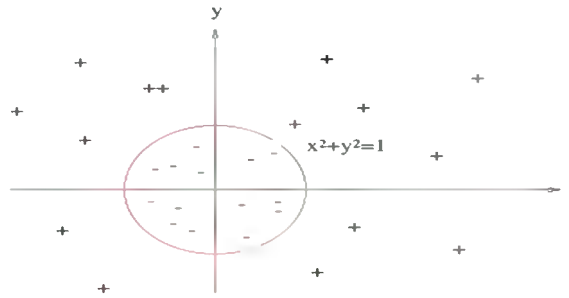


Figure III.4 : Données non linéairement séparables

III.5 Les plus proches voisins (ppv) :

III.5.1 Définition :

La méthode des plus proches voisins (PPV en bref, nearest neighbor en anglais ou knn for short) est une méthode dédiée à la classification qui peut être étendue à des tâches d'estimation. La méthode PPV est une méthode de raisonnement à partir de cas. Elle part de l'idée de prendre des décisions en recherchant un ou des cas similaires déjà résolus en mémoire. Contrairement aux autres méthodes de classification qui seront étudiées dans les sections suivantes (arbres de décision, réseaux de neurones, algorithmes génétiques), il n'y a pas d'étape d'apprentissage consistant en la construction d'un modèle à partir d'un échantillon d'apprentissage. C'est l'échantillon d'apprentissage, associé à une fonction de distance et d'une fonction de choix de la classe en fonction des classes des voisins les plus proches, qui constitue le modèle. [16]

III.5.2 Algorithme de classification par k-PPV :

L'algorithme générique de classification d'un nouvel exemple par la méthode PPV est :

Paramètre : le nombre k de voisins

Donnée : un échantillon de m enregistrements classés $(x^{\textcircled{R}}, c(x^{\textcircled{R}}))$

Entrée : un enregistrement $y^{\textcircled{R}}$

1. déterminer les k plus proches enregistrements de $y^{\textcircled{R}}$
2. combiner les classes de ces k exemples en une classe c

Sortie : la classe de $y^{\textcircled{R}}$ est $c(y^{\textcircled{R}})=c$

- **Sélection de la classe**

L'idée de la méthode est la recherche de cas similaires au cas à résoudre et d'utiliser les décisions des cas proches déjà résolus pour choisir une décision. La méthode la plus simple est de rechercher le cas le plus proche et de prendre la même décision. C'est la méthode 1-PPV (1-NN) du plus proche voisin. Si cette méthode peut fournir de bons résultats sur des problèmes simples pour lesquels les points (les enregistrements) sont bien répartis en groupes denses d'enregistrements de même classe, en règle générale, il faut considérer un nombre de voisins plus important pour obtenir de bons résultats.

Nous supposons avoir déterminé les k voisins $(x_1^{\text{®}}, c(x_1^{\text{®}})), \dots, (x_k^{\text{®}}, c(x_k^{\text{®}}))$ d'un enregistrement $y^{\text{®}}$ auquel on souhaite attribuer une classe $c(y^{\text{®}})$.

Une première façon de combiner les k classes des k voisins les plus proches est le vote majoritaire. Elle consiste simplement à prendre la classe majoritaire. Dans le cas de deux classes, on choisit une valeur de k impaire.

Une seconde façon est le vote majoritaire pondéré. Chaque vote, c'est-à-dire chaque classe d'un des k voisins sélectionnés, est pondéré. Soit $x_i^{\text{®}}$ le voisin considéré, Le poids de $c(x_i^{\text{®}})$ est inversement proportionnel à la distance entre l'enregistrement $y^{\text{®}}$ à classer et $x_i^{\text{®}}$.

Dans les deux cas précédents, il est possible de définir une confiance dans la classe attribuée égale au rapport entre les votes gagnants et le total des votes.

Lorsque la technique est appliquée à une tâche d'estimation, donc à prédire la valeur d'un attribut continu, la notion de vote perd tout son sens. Une première solution pour combiner les réponses est l'interpolation, c'est-à-dire de calculer une moyenne pondérée des réponses. Un défaut de cette solution est de <<lisser>> les données. Une deuxième solution est de considérer les k enregistrements avec la valeur prédite correspondante et d'utiliser les techniques de régression linéaire pour estimer la valeur en $y^{\text{®}}$. [17]

III.5.3 Mise en place de la méthode :

La méthode ne nécessite pas de phase d'apprentissage. Le modèle sera constitué de l'échantillon d'apprentissage, de la distance et de la méthode de combinaison des voisins.

Il faut choisir l'échantillon, c'est-à-dire les attributs pertinents pour la tâche de classification considérée et l'ensemble des enregistrements. Il faut veiller à disposer d'un nombre assez grand d'enregistrements par rapport au nombre d'attributs et à ce que chacune des classes soit bien représentée dans l'échantillon choisi.

Le choix de la distance par champ et du mode de combinaison des distances se fait en

Chapitre III: Notions sur les techniques intelligentes utilisées

fonction du type des champs et des connaissances préalables du problème. Il est possible de choisir la distance en faisant varier cette distance et, pour chacun des choix, estimer l'erreur réelle. On choisit alors la distance donnant la meilleure erreur réelle estimée. L'estimation de l'erreur réelle se fait classiquement avec un ensemble test ou la validation croisée

Le choix du nombre k de voisins peut, lui aussi, être déterminé par utilisation d'un ensemble test ou par validation croisée. Une heuristique fréquemment utilisée est de prendre k égal au nombre d'attributs plus 1. La méthode de vote ou d'estimation peut aussi être choisie par test ou validation croisée. [18]

III.5.4 Critiques de la méthode :

- **pas d'apprentissage :**

C'est l'échantillon qui constitue le modèle. L'introduction de nouvelles données permet d'améliorer la qualité de la méthode sans nécessiter la reconstruction d'un modèle. C'est une différence majeure avec des méthodes telles que les arbres de décision et les réseaux de neurones.

- **Clarté des résultats :**

Bien que la méthode ne produit pas de règle explicite, la classe attribuée à un exemple peut être expliquée en exhibant les plus proches voisins qui ont amené à ce choix.

- **Nombre d'attributs :**

La méthode permet de traiter des problèmes avec un grand nombre d'attributs. Mais, plus le nombre d'attributs est important, plus le nombre d'exemples doit être grand. En effet, pour que la notion de proximité soit pertinente, il faut que les exemples couvrent bien l'espace et soient suffisamment proches les uns des autres. Si le nombre d'attributs pertinents est faible relativement au nombre total d'attributs, la méthode donnera de mauvais résultats car la proximité sur les attributs pertinents sera noyée par les distances sur les attributs non pertinents. Il est donc parfois utile de d'abord sélectionner les attributs pertinents.

- **Temps de classification :**

Si la méthode ne nécessite pas d'apprentissage, tous les calculs doivent être effectués lors de la classification. Ceci est la contrepartie à payer par rapport aux méthodes qui nécessitent un apprentissage (éventuellement long) mais qui sont rapides en classification (le modèle est créé, il suffit de l'appliquer à l'exemple à classer). Certaines méthodes permettent de diminuer la taille de l'échantillon en ne conservant que les exemples pertinents pour la méthode PPV, mais il faut, de toute façon, un nombre d'exemples suffisamment grand

Chapitre III: Notions sur les techniques intelligentes utilisées

relativement au nombre d'attributs.

- **Stocker le modèle :**

Le modèle est l'échantillon, il faut donc un espace mémoire important pour le stocker ainsi que des méthodes d'accès rapides pour accélérer les calculs.

- **Distance et nombre de voisins :**

Les performances de la méthode dépendent du choix de la distance, du nombre de voisins et du mode de combinaison des réponses des voisins. En règle générale, les distances simples fonctionnent bien. Si les distances simples ne fonctionnent pour aucune valeur de k , il faut envisager le changement de distance, ou le changement de méthode [19]

III.5.5 Les avantages et les inconvénients de la méthode :

1. Avantages :

- Facile à implémenter
- Pas de modèle à construire
- Utile pour données hétérogènes, classes irrégulières, etc.
- Version incrémentale aisée

2. Inconvénients :

- Pas de modèle, donc pas d'explication de la classification,
- Classification lente et gourmande (garder les points en mémoire, etc.), [19]

III.6 l'arbre de décision :

Un arbre de décision est une représentation graphique d'une procédure de classification.

Sa lisibilité, sa rapidité d'apprentissage et d'exécution expliquent sa popularité.

Le but de cette technique est : prédire les valeurs prises par la variable à prédire à partir d'un ensemble de variables prédictives (ou variables discriminantes). Cette technique fait partie des méthodes d'apprentissage supervisée. Son succès repose sur la lisibilité du modèle de prédiction car les variables discriminantes sont hiérarchisées sous forme d'un arbre. Le travail de l'analyste consiste aussi à faire comprendre ses résultats afin d'emporter l'adhésion des décideurs.

III.6.1 Apprentissage des arbres de décision :

Avec en entrée, un échantillon de m enregistrements classés $(x^{\text{®}}, c(x^{\text{®}}))$, un algorithme d'apprentissage doit fournir en sortie un arbre de décision. La plupart des algorithmes procèdent de façon descendante, c'est-à-dire qu'ils choisissent la racine de l'arbre (en général un test) puis, récursivement, choisissent l'étiquette des fils. Pour simplifier la présentation, nous nous limitons, dans cette section à des problèmes où les attributs sont discrets et le nombre de classes égal à 2. [20]

III.6.2 Critiques de la méthode :

Lisibilité du résultat :

Un arbre de décision est facile à interpréter et est la représentation graphique d'un ensemble de règles. Si la taille de l'arbre est importante, il est difficile d'appréhender l'arbre dans sa globalité. Cependant, les outils actuels permettent une navigation aisée dans l'arbre (parcourir une branche, développer un nœud, élaguer une branche) et, le plus important, est certainement de pouvoir expliquer comment est classé un exemple par l'arbre, ce qui peut être fait en montrant le chemin de la racine à la feuille pour l'exemple courant.

Tout type de données :

L'algorithme peut prendre en compte tous les types d'attributs et les valeurs manquantes. Il est robuste au bruit.

Sélection des variables :

L'arbre contient les attributs utiles pour la classification. L'algorithme peut donc être utilisé comme prétraitement qui permet de sélectionner l'ensemble des variables pertinentes pour ensuite appliquer une autre méthode.

Classification efficace :

L'attribution d'une classe à un exemple à l'aide d'un arbre de décision est un processus très efficace (parcours d'un chemin dans un arbre).

Outil disponible :

Les algorithmes de génération d'arbres de décision sont disponibles dans tous les environnements de fouille de données.

Chapitre III: Notions sur les techniques intelligentes utilisées

Extensions et modifications :

La méthode peut être adaptée pour résoudre des tâches d'estimation et de prédiction. Des améliorations des performances des algorithmes de base sont possibles grâce aux techniques de bagging et de boosting : on génère un ensemble d'arbres qui votent pour attribuer la classe.

Sensible au nombre de classes :

Les performances tendent à se dégrader lorsque le nombre de classes devient trop important.

Évolutivité dans le temps :

L'algorithme n'est pas incrémental, c'est-à-dire, que si les données évoluent avec le temps, il est nécessaire de relancer une phase d'apprentissage sur l'échantillon complet (anciens exemples et nouveaux exemples). [21]

III.7 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons vu qu'il existe une quantité importante de méthodes pour la classification des données. Toutes sont issues des recherches sur l'apprentissage (« Machine Learning »). Comme pour la classification non supervisée, l'étape de représentation des données est essentielle. On a vu le concept théorie des quatre méthodes qu'ils nécessitent de représenter chaque donnée sous la forme d'un vecteur (type attribut/valeur).

Parmi les N exemples de base de données classés, on utilise une partie des données pour l'entraînement, et le reste pour le test. Pendant la phase de test, on soumet chaque exemple à l'algorithme de classification et on regarde simplement si le classifieur trouve la bonne classe.

Chapitre IV :

Résultats obtenus

&

Discussion

IV.1 Introduction :

La classification des maladies dans le domaine médical a pour but de rassembler en classes (groupes) les cas qui ont des similitudes biologiques fondamentales et qui sont susceptibles de partager certains facteurs pathologiques. Il est important de faire la reconnaissance de ces classes car cela permet non seulement de comprendre le processus de la maladie mais aussi d'instaurer l'approche thérapeutique adéquate. Après l'étape de reconnaissance, il est intéressant de pouvoir faire l'identification de cas en les attribuant à la classe qui leur convient.

Dans ce travail, nous utilisons quatre approches différentes pour la reconnaissance automatique du kératocône puis on fait une étude comparative entre eux par rapport aux différents résultats obtenus.

Donc dans ce travail, les quatre approches utilisées sont :

- RNS : réseau de neurone
- SVM : *Support Vector Machines*
- K-NN : plus proches voisins
- C4-5 : arbre de décision

IV.2 Paramètres d'évaluation :

Ces quatre classifieurs seront évalués en fonction de leur sensibilité, spécificité, taux de classification, matrice de confusion et degré de réduction de données.

a. Sensibilité (Se) :

Représente la probabilité que le test soit positif si la patiente est malade. C.-à-d. on appelle sensibilité (Se) du test sa capacité de donner un résultat positif quand la maladie est présente. Dans le langage des probabilités, la sensibilité mesure la probabilité conventionnelle que le test soit positif lorsque la maladie est présente. La

Sensibilité est estimée par la proportion de résultats positifs par suite de l'application du test à un groupe d'individus reconnus comme ayant la maladie.

$$\text{Sensibilité (\%)} = VP / (VP + FN) * 100$$

Chapitre IV : Résultats obtenus et discussion

b. Spécificité (Sp) :

Représente la probabilité que le test soit négatif si la patiente n'est pas malade.

C.-à-d. on appelle Spécificité du test cette capacité de donner un résultat négatif quand la maladie est absente. Dans le langage des probabilités, la Spécificité mesure la probabilité conventionnelle que le test soit négatif lorsque la maladie est absente.

La Spécificité est estimée par la proportion de résultats négatifs conséquemment à l'application du test à un groupe d'individus reconnus comme n'ayant pas la maladie

$$\text{Spécificité (\%)} = VN / (VN + FP) * 100$$

c. Taux de classification :

$$TC = (VN + VP) / (VN + FN + VP + FP) * 100$$

Avec VP, VN, FP et FN représente respectivement:

Vrai positif : un Kératocône classé Kératocône;

Vrai négatif : un No Kératocône classé No Kératocône ;

Faux positif : un No Kératocône classé Kératocône;

Faux négatif : un Kératocône classé No Kératocône.

d. Matrice de confusion :

Elle contient des informations sur les classifications réelles et prédites par un système de classification. La matrice de confusion (tableau IV .1) permet d'identifier les erreurs de classification.

Mais il est important de confronter la spécificité et la sensibilité du test aux caractéristiques de la maladie dans la population où l'on pratique le dépistage. Il faut calculer les valeurs prédictives positives et négatives du test.

- La valeur prédictive positive (VPP) d'un test est le risque que le sujet soit effectivement " malade " si son test est positif, c'est le rapport des vrais positifs sur la somme de tous les individus dont le test est revenu positif.

- La valeur prédictive négative (VPN) est la chance que le sujet ne soit pas " malade " si le test est négatif, c'est le rapport des vrais négatifs sur le total de tous les négatifs

Chapitre IV : Résultats obtenus et discussion

Réelle	Prédite	
	Négative	Positive
Test Négative	VN	FN
Test Positive	FP	VP

Tableau IV .1: Matrice de confusion

Valeur prédictive positive = Vrais positifs / Tous les positifs

Valeur prédictive négative = Vrais négatifs / Tous les négatifs

IV.3 Résultats obtenus :

Afin de déterminer les valeurs optimales de chaque méthode, nous avons mené plusieurs expériences en variant les valeurs de ces techniques.

IV.3. 1 Classification par la méthode neuronale :

Pour la classification par le RNA ; nous avons obtenu un meilleur résultat après changement des différents paramètres (Nbre d'epochs, pas d'apprentissage, l'erreur), le tableau (Tableau IV .2) montre les résultats suivants:

Paramètres	valeurs
Nombre d'attributs	11
taux de classification	91%
Sensibilité	91%
Spécificité	90%
nombre d'epochs	70
nombre de couches cachés	10
nombre de couche de sortie	1

Tableau IV .2 : paramètres de meilleurs résultats obtenus par RNS

Chapitre IV : Résultats obtenus et discussion

En utilisant l'ensemble des 11 paramètres (attributs) nous sommes parvenus à un taux de classification de (91%). Avec une sensibilité de 91% et une spécificité égale à (90%). Cela pourra se traduire en disant que dans les 88 cas kératocônes, le test a reconnu 80 cas correctement ($Se=91\%$.) et pour les 93 cas normaux le test a reconnu 85 cas correctement ($Sp=90\%$). Donc pour les 181 patients présentés le réseau a bien reconnu 165 ($TC=91\%$).

Matrice de confusion :

Réelle	Prédite	
	Non-kératocône	kératocône
Non-kératocône	85	8
Kératocône	8	80
Somme	93	88

Tableau IV .3 : matrice de confusion obtenu par la méthode RNS

En analysant le tableau de matrice de confusion (tableau IV .3), Nous remarquons donc qu'un nombre de 8 patients kératocônes classés non kératocônes et un nombre de 8 patients non kératocônes classés kératocônes. Donc on peut dire que la classification par RNA est satisfaisante par rapport à cette nouvelle base de données collectées au niveau de la clinique.

IV.3.2 Classification par la méthode SVM :

Nous avons aussi utilisé l'ensemble des 11 attributs pour reconnaître les données de notre base par la méthode SVM. Nous avons obtenu un taux de classification de (88.95%). Avec une sensibilité de (84.76%) et une spécificité égale à (94%). Nous avons reconnu correctement 72 cas parmi 88 kératocônes ($Se=84\%$.) Et nous avons identifié correctement 88 cas parmi 93 cas normaux ($Sp=94.74\%$). Au total pour les 181 patients le classifieur a bien reconnu 160 ($TC=88.95\%$).

Nous présentons aussi dans le tableau (IV .4) la matrice de confusion obtenue par la méthode SVM pour montrer le nombre de (FN FP VN VP).

Chapitre IV : Résultats obtenus et discussion

Réelle	Prédite	
	Non-kératocône	Kératocône
Non-kératocône	88	16
Kératocône	5	72
Somme	93	88

Tableau IV .4 : matrice de confusion obtenu par la méthode SVM

D'après le tableau de matrice de confusion, Nous remarquons donc qu'un nombre de 16 patientes kératocônes classés non kératocônes et un nombre de 5 patientes non kératocônes classes kératocônes, donc on peut dire que le nombre de faux négatifs (16) a doublé par rapport à la classification par le RNA.

III. 3 Classification par la méthode K-NN :

nous avons calculé le taux de classification par la methode K-NN et nous avons trouvé un taux de 85 ,28 % et nous avons obtenu aussi la matrice de confusion (Tableau IV .5) :

Réelle	Prédite	
	Non-kératocône	Kératocône
Non-kératocône	76	3
Kératocône	21	63
Somme	79	66

Tableau IV .5 : matrice de confusion obtenu par la méthode K-NN

Apartir de la matrice de confusion nous avons calculé la sensibilité et la spicificité de cette clasification et nous avons trouvé les resultats suivante :

Chapitre IV : Résultats obtenus et discussion

1. Sensibilité :

$$\text{Sensibilité (\%)} = \text{VP} / (\text{VP} + \text{FN}) * 100$$

$$\text{Donc sensibilité(\%)} = 95.45\%$$

2. Spécificité :

$$\text{Spécificité (\%)} = \text{VN} / (\text{VN} + \text{FP}) * 100$$

$$\text{Spécificité (\%)} = 78.35\%$$

Nous avons obtenu un taux de classification de (85.28 %). Avec une sensibilité de (95.45%). Et une spécificité égale à (78.35%). Nous avons reconnu correctement 63 cas parmi 84 kératocônes (Se=84%). Et nous avons identifié correctement 76 cas parmi 79 cas normaux (Sp=94.74%). Au total pour les 163 patients le classifieur a bien reconnu 139 (TC=88.95%).

Nous remarquons aussi qu'un nombre de 3 patients kératocônes classés non kératocônes et un nombre de 21 patients non kératocônes classés kératocônes, les résultats sont meilleurs en appliquant la méthode K-NN

IV.3.4 Classification par la méthode C4.5 :

nous avons calculé aussi dans cette partie le taux de classification par la méthode C4.5 et nous avons trouvé un taux de 90,18 % et on a obtenu aussi la matrice de confusion (Tableau IV .6) suivant:

Réelle	Prédite	
	Non-kératocône	Kératocône
Non-kératocône	76	5
Kératocône	11	71
Somme	87	76

Tableau IV .6 : matrice de confusion obtenu par la méthode C4.5

Chapitre IV : Résultats obtenus et discussion

Nous calculons à partir de cette matrice de confusion la sensibilité et spécificité de classification par la méthode C4.5 :

1. Sensibilité :

$$\text{Sensibilité (\%)} = \text{VP} / (\text{VP} + \text{FN}) * 100$$

$$\text{Donc sensibilité (\%)} = 93.42\%$$

2. Spécificité :

$$\text{Spécificité (\%)} = \text{VN} / (\text{VN} + \text{FP}) * 100$$

$$\text{Donc Spécificité (\%)} = 87.35\%$$

Nous sommes parvenus donc à un taux de classification de (90.18 %). Avec une sensibilité de (93.42%). Et une spécificité égale à (87.35%). Cela pourra se traduire en disant que dans les 82 cas kératocônes, le test en reconnaît 71 (Se=84%) kératocônes et des 81 normales le test en reconnaît 76 (Sp=94.74%) normale. Et pour les 163 patients le réseau a bien reconnu 147 (TC=90.18%).

A partir de matrice de confusion, Nous remarquons qu'un nombre de 5 patients kératocônes classés non kératocônes et un nombre de 11 patients non kératocônes classés kératocônes.

IV.4 Etude comparative entre les quatre résultats :

Le tableau et l'histogramme suivant représentent une comparaison entre les 4 méthodes en termes de performances obtenus :

méthodes	Taux	spécif	Sensibi
RNS	91%	90%	91%
SVM	88.95%	94.74%	84.76%
K-NN	85.28%	95.45%	78.35%
C4.5	90.18	87.35	93.42

Tableau IV .7 : Comparaison des résultats avec les quatre méthodes de classification

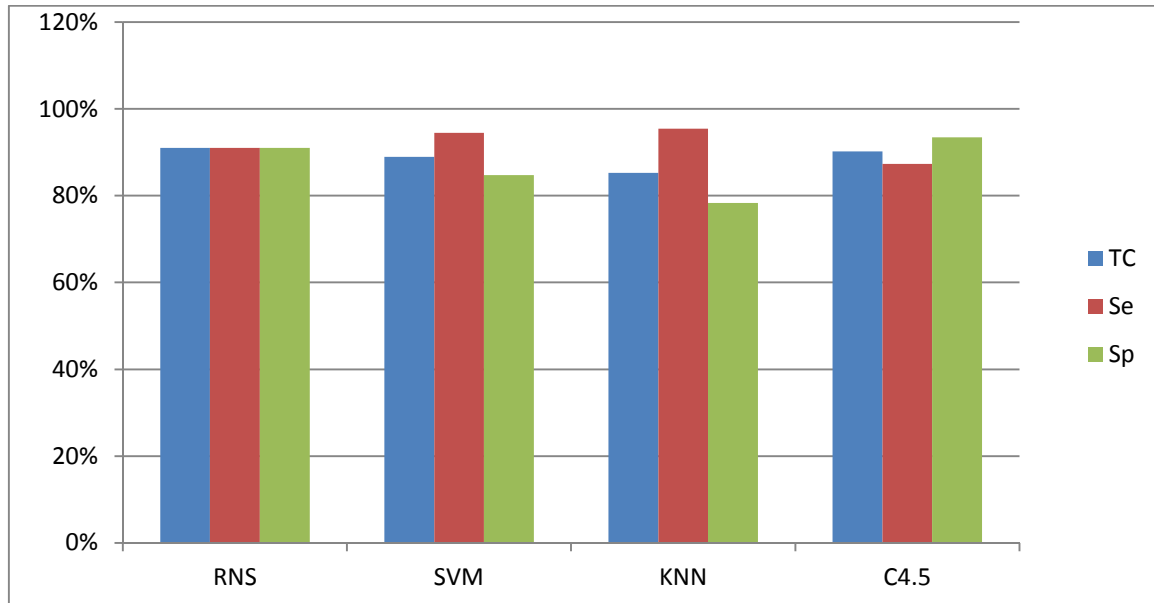


Figure IV.1 : Histogramme représentatif de la Se, Sp et du Tc pour les quatre méthodes

Dans cette partie nous avons fait la comparaison entre les différentes méthodes de classification supervisée utilisées selon plusieurs critères que nous avons résumés dans les points suivants :

- Du point de vue performance du classifieur, la classification par le RNA a donné Meilleur taux de reconnaissance avec 91%, par rapport aux trois autres méthodes mais une petite différence.
- Malgré que le taux de classification est essentiel pour la classification mais le nombre de faux négatifs (FN) est important, Sachant que les FNs sont à éviter dans le domaine médical

Donc à partir d'histogramme ci-dessous, on montre que la méthode de classification KNN a donné le nombre le plus petit par rapport aux trois méthodes citées, par contre l'approche SVM a donné le plus grand nombre de FNs.

Chapitre IV : Résultats obtenus et discussion

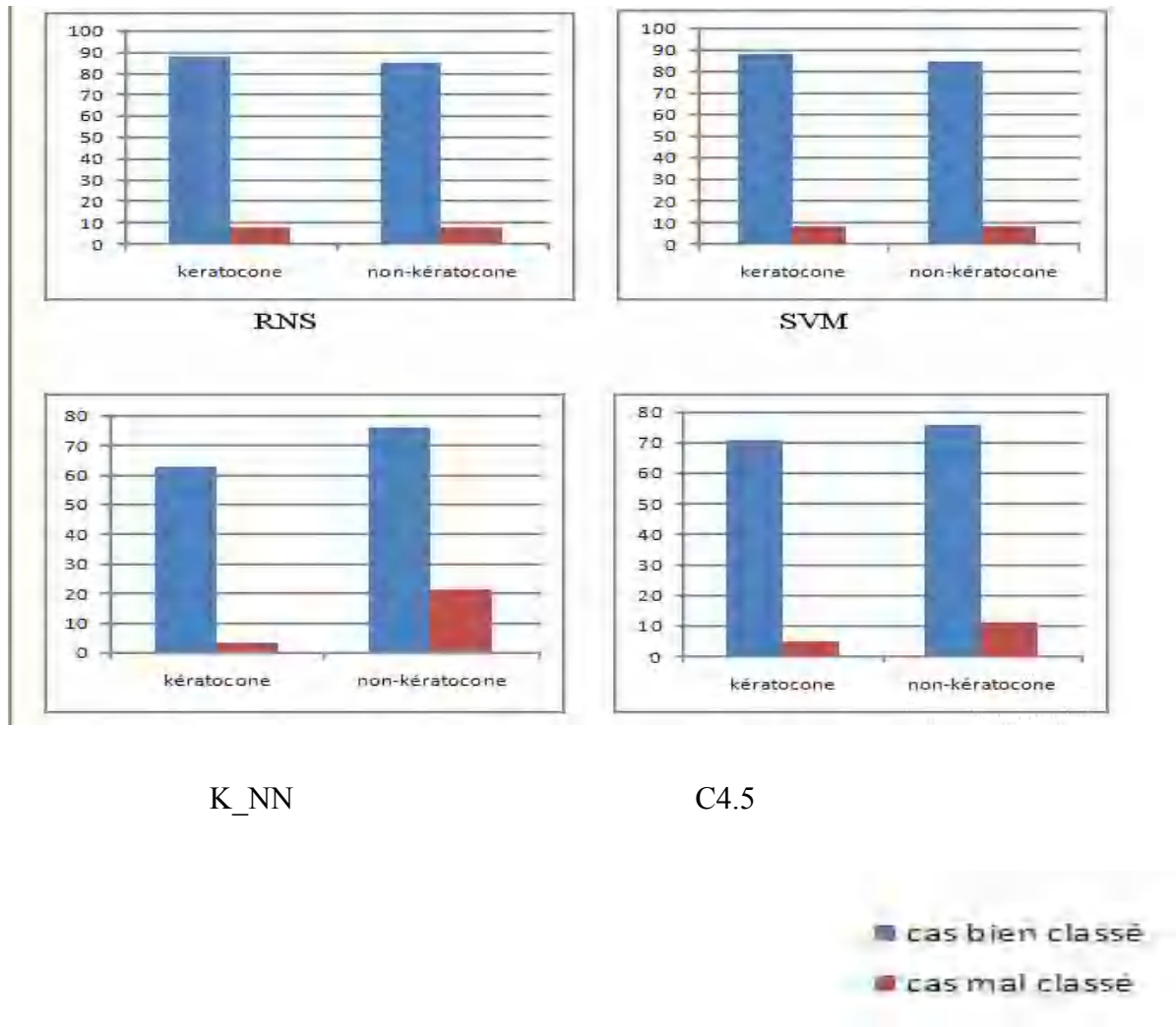


Figure IV.2 : Histogramme représentatif de la matrice de confusion pour les quatre approches

IV.5 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons créé la base des données puis nous avons testé cette base par quatre méthodes de classification supervisée (RNS et le SVM après K-NN et C4.5), et nous avons obtenu des différents résultats de classification en termes de Taux de classification, Sensibilité et Spécificité. Le meilleur résultat a été obtenu par l'approche neuronale avec un temps de classification égal à 91%.

Conclusion générale

Le kératocône fait l'objet, depuis plus d'un siècle et demi, de diverses discussions, parutions, et descriptions.

Aujourd'hui encore, les avis sont nombreux, et encore très divergents, dans les différents domaines de cette dystrophie : origine, étiologie, prévalence, physiopathologie,...

Mais malgré des recherches considérables, le kératocône reste en 2013 une maladie mystérieuse. Parmi ces recherches un nombre plus petit des personnes a été mené afin d'effectuer la classification ou le diagnostic de la maladie à partir d'un système intelligent artificiel. Pour cela, nous avons collecté dans ce mémoire de master notre propre base de données pour aider les médecins ophtalmologues à prendre la bonne décision de diagnostic.

Dans notre projet de fin d'étude quatre modèles intelligents ont été employés. Le premier utilise l'approche neuronale le second approche c'est le SVM, le troisième c'est les plus proches voisins et on termine par les arbres de décision.

La première méthode est basée sur les réseaux de neurones multicouches, Nous utilisons Cette approche à cause de son Efficacité grâce à sa puissance d'apprentissage et ceci en donnant les meilleurs résultats d'évaluation. Les résultats obtenus pour l'approche des RNA sont prometteurs mais on a un nombre de faux négatifs (FN) un peu élevé.

La seconde méthode de classification utilise c'est Les machines à vecteurs support et cette type de méthode est la plus utilisée dans le domaine médicale ce qui justifie notre choix.

La troisième méthode utilisée c'est le plus proche voisin, C'est une approche très simple et directe (facile à implémenter). Elle ne nécessite pas d'apprentissage mais simplement le stockage des données d'apprentissage. Cette méthode a donné le nombre le plus petit de faux négatifs par rapport aux autres méthodes.

Et la quatrième méthode basée sur les arbres de décision, plus exact sur l'algorithme C4.5 tant que cette méthode offre une espace très grande de l'interprétabilité par rapport aux trois méthodes précédant, Les résultats obtenus pour l'approche des C4.5 sont aussi prometteurs.

Nous souhaitons dans le futur trouver des résultats plus efficaces pour la classification de notre base des données par l'utilisation d'ANFIS afin de voir le côté interprétabilité des résultats

Bibliographie

[1] : F.DERRIEN, A.LE MEHAUTE, J .COLIN . CORNEAL TOPOGRAPHY. 1992 .pdf

[2]: P. Perissutti, A.P. Accardo, S. Pensiero, M.L. Salvetat. "AUTOMATIC KERATOCONUS DETECTION BY MEANS OF A NEURAL NETWORK:COMPARISON BETWEEN A MONOCULAR AND A BINOCULAR APPROACH."1998. Pdf

[3]: J. F. Lalibert, Brunette, J. Meunier. Topography-based screening for previous laser correction of hyperopia. 2003.pdf

[4]: Harminder S. Dua. Human Corneal Anatomy. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ophta.2013.01.018>

[5]: <http://www.gatinel.com/recherche-formation/la-cornee/>

[6] : www.orpha.net/data/patho/Pub/fr/Keratocone-FRfrPub2186v01.pdf | Juillet 2007

[7] :www.orpha.net/data/patho/Pub/fr/Keratocone-FRfrPub2186v01.pdf | Juillet 2007

[8] : www.chirurgie-refractive-chu33.com

[9]: http://www.keratoconefrance.com/php/index_more_information.php

[10]: Rosenblatt F. Principles of Neurodynamics: Perceptrons and the Theory of Brain Mechanisms. Spartan, Washington., 1962. Pdf

[11]: McCulloch, PITTS W. A logical Calculus of Ideas Immanent in Nervous Activity. Research Studies Press, Taunton, 1997. Pdf

[12]: Marc Parizeau. Réseaux De Neurones. Université de LAVAL. P39, 51. Automne

2004.pdf

[13]: Marti A. Hearst, Support Vector Machines, IEEE Intelligent Systems, vol. 13, no.4, pdf.

[14]: Bernhard Schölkopf, Alexander J. Smola, Learning With Kernels: Support Vector Machines, Regularization, Optimization and Beyond, 2002, MIT Press.pdf

[15]: <http://www.springerlink.com/content/k238jx04hm87j80g/> 18-28, Jul/Aug, 1998

[16]: Stéphane Tuéry. Data Mining et statistique décisionnelle : L'intelligence des données Editions Ophrys. P 148, 157,160. 2007.pdf

[17]: [http : //www.xavierdupre.fr/](http://www.xavierdupre.fr/)

[18]: Rapport de stage Thomas Boulay 05 Juillet 2010 - 29 Octobre 2010,pdf

[19]: SCLASS Statistiques et classifications en bioinformatique, Classification non paramétrique, Pierre-Henri WUILLEMI,pdf

[20]: Ricco RAKOTOMALALA, Arbres de Décision, 2005, pdf

[21]: Alexandre Aussem, MSADMSAD : Modèles Statistiques pour l'Aide à la Décision, 21 novembre 2012,pdf